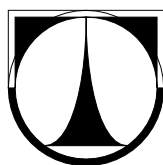


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Liberec 2013

Pavel Slavík

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Měření otáček pro vzdálenou laboratoř

Tachometer Measurement for the Remote Laboratory

Pavel Slavík

Studijní program: N2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy

Pracoviště: Ústav řízení systémů a spolehlivosti

Fakulta mechatroniky, informatiky a
mezioborových studií

Technická univerzita v Liberci
Studentská 2, 461 17 Liberec

Školitel: Ing. Jiří Jelínek Ph. D.

Konzultant: Ing. Petr Fuchs

Rozsah bakalářské práce

Počet stran: 48
Počet obrázků: 17
Počet tabulek: 0

Rozsah příloh bakalářské práce

Počet stran: 11
Počet obrázků: 12
Počet tabulek: 0

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel Slavík**
Osobní číslo: **M10000112**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**
Název tématu: **Měření otáček pro vzdálenou laboratoř**
Zadávající katedra: **Ústav řízení systémů a spolehlivosti**


Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s námětem a plánovanou strukturou budoucí vzdálené úlohy.
2. Seznamte se s problematikou měření otáček.
3. Realizujte přípravek pro měření otáček a parametrů elektromotoru, ověřte jeho funkčnost.
4. Realizujte vzdálené ovládání a měření přes webové rozhraní.

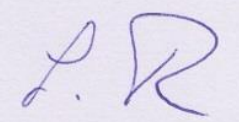
Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: cca 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

1. KOLÁŘ, Milan. Analogová elektronika. Liberec : Přednášky TUL, 2012.
2. JELINEK, Jiří. Měření fyzikálních veličin. Liberec : Přednášky TUL, 2012.
3. PUNČOCHÁŘ, Josef. Operační zesilovače v elektronice. Páté vydání. Praha : BEN - Technická literatura, 2005. 496 s. ISBN 80-7300-059-8.
4. ANTOŠKOVÁ, Marcela; DAVÍDEK, Vratislav. Číslicová technika : Učebnice. Třetí vydání. Šumavská 3, 370 01 České Budějovice : Kopp, 2008. 282 s. ISBN 978-80-7232-333-3.
5. Příručka projektanta systému FOXTROT. Příručka projektanta systému FOXTROT [online]. 2012, č. 1, s. 73 [cit. 2012-10-08]. Dostupné z: http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/TXV00411_01_Foxtrot_DesignManual.cz.pdf.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Jelínek, Ph.D.
Ústav řízení systémů a spolehlivosti
Konzultant bakalářské práce: Ing. Petr Fuchs
Ústav řízení systémů a spolehlivosti
Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2012
Termín odevzdání bakalářské práce: 17. května 2013


prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.
děkan




doc. Ing. Libor Tůma, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 15. října 2012

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat firmě KLEMENT a.s., která mi vyrobila některé konstrukční části přípravku. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Jiřímu Jelínkovi Ph.D. a panu Ing. Petru Fuchsovi za rady a připomínky k mé bakalářské práci. A také bych chtěl poděkovat rodině za podporu při studiu.

Abstrakt

Měření otáček je prováděno PLC automatem, který je připojen přes převodníky napětí na PWM, napětí na napětí, proud na napětí, napětí na reléové výstupy a napětí na frekvenci. Tyto převodníky jsou potřeba pro řízení celého měřicího přípravku. Na měřicím přípravku je možné měřit otáčky dvěma způsoby a to kontaktním i bezkontaktním. Úloha byla vytvořena pro podporu výuky a demonstrace vzdáleného řízení přes webové rozhraní.

Klíčová slova: měření otáček, PLC, převodníky elektrických veličin

Abstract

Speed measurement is performed by a PLC which is connected over converters voltage to the PWM, voltage to the voltage, current to the voltage, voltage at the relay outputs and voltage to the frequency. These converters are needed to control the measuring product. The measurement of speed can be measured in two ways, and that the contact and contactless. The role was created to support the teaching and demonstration of remote management over web interface.

Key words: Measuring speed, PLC, converters electrical variables

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	10
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	11
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	12
ÚVOD.....	13
1. PROBLEMATIKA MĚŘENÍ OTÁČEK.....	14
1.1 KONTAKTNÍ SNÍMAČE	14
1.1.1 Magnetický snímač	15
1.1.2 Odstředivý snímač	15
1.1.3 Tachodynamo.....	16
1.1.4 Tachogenerátor	17
1.1.5 Inkrementální snímače	19
1.2 BEZKONTAKTNÍ SNÍMAČE:	20
1.2.1 Indukční snímače	20
1.2.2 Snímač magnetického pole	21
1.2.3 Optické snímače.....	22
1.2.4 Snímání pomocí stroboskopického efektu	23
1.2.5 Snímání pomocí stroboskopického kotouče	24
2. STRUKTURA VZDÁLENÉ ÚLOHY	25
2.1 KOMUNIKAČNÍ ROZHRAŇÍ.....	26
2.1.1 Ethernet.....	28
2.1.2 TCL2.....	28
2.1.3 CIB.....	28
2.2 PROGRAMOVACÍ JAZYK PLC	29
3. REALIZACE ÚLOHY	31
3.1 NÁVRH A REALIZACE KONTAKTNÍM MĚŘENÍ OTÁČEK	32
3.2 NÁVRH A REALIZACE ZDROJE PRO MOTOR 12 V / 3,5 A.....	33
3.3 NÁVRH A REALIZACE FILTRU	35
3.4 NÁVRH A REALIZACE ZDROJE PRO ŘÍDICÍ ELEKTRONIKU	36
3.5 NÁVRH A REALIZACE PŘEVODNÍKU NAPĚTÍ NA NAPĚTÍ A NAPĚTÍ NA RELÉOVÉ VÝSTUPY	38
3.6 NÁVRH A REALIZACE PŘEVODNÍKU NAPĚTÍ NA PWM.....	40
3.7 NÁVRH A REALIZACE PŘEVODNÍKU NAPĚTÍ NA FREKVENCI.....	42
SHRNUTÍ.....	43
ZÁVĚR	44
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	45
SEZNAM PŘÍLOH.....	48

Seznam použitých symbolů

U	[V]	elektrické napětí
I	[A]	elektrický proud
R	[Ω]	elektrický odpor
Φ	[Wb]	magnetický tok
ω	[rad/s]	úhlová rychlost
K	[-]	počet zubů
K_T	[-]	konstanta tachodynamy
n	[s ⁻¹]	otáčky
f	[Hz]	frekvence
p	[-]	pólové nastavce
N	[-]	počet závitů
L	[H]	indukčnost
S	[m ²]	průřez vodiče
d	[m]	průměr vodiče
C	[F]	kapacita
p	[%]	zvlnění napětí

Seznam použitých zkratk

PLC	programovatelný automat (Programmable logic controler)
TCL2	systémová sběrnice
CIB	sběrnice (Common Installation Bus)
MDB	ovládací panel (Electrical Panel Boards)
UTP	síťový kabel nestíněný
STP	síťový kabel stíněný
TP	kroucený pár (twistedpair)
PWM	pulsně šířková modulace (Puls Width Modulation)
LED	světlo vyzařující dioda (Light Emitting Diode)
CAN	sběrnice (Controller Area Network)
PAU	programové organizační jednotky (Program Organization Unit)
IL	seznam instrukcí (Instruktion List)
ST	strukturovaný text
LD	kontaktní schémata
FBD	funkční bloky (Function Block Diagram)
XML	rozšířený značkovací jazyk (Extensible Markup Language)
DPS	deska plošných spojů
OZ	operační zesilovač
VCO	napětím řízený oscilátor (voltage controlled oscillator)
TTL	tranzistorová logika (Transistor Transistor Logic)
CMOS	technologie obvodů (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor)

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Funkční schéma magnetického otáčkoměru	15
Obrázek 2 - Funkční schéma odstředivého otáčkoměru	16
Obrázek 3 - Tachodynamo od firmy ATAS elektromotory Náchod a.s.	17
Obrázek 4 - Tachogenerátor od firmy ATAS elektromotory Náchod a.s.	18
Obrázek 5 - Inkrementální snímač	19
Obrázek 6 - Indukční snímač otáček	21
Obrázek 7 - Použití Hallova senzoru u PC ventilátoru	22
Obrázek 8 - Stroboskopické kotoučky	24
Obrázek 9 - PLC automat Foxtrot CP - 1008	25
Obrázek 10 - Rozšiřující modul CIB	26
Obrázek 11 - Spojení motor – tachodynamo	33
Obrázek 12 - Zdroj 12 V / 3,5 A	35
Obrázek 13 - Symetrický Pí článek	36
Obrázek 14 - Převodník napětí na napětí a napětí na reléové výstupy	39
Obrázek 15 - Převodník napětí na PWM	41
Obrázek 16 - Převodník napětí na frekvenci	43
Obrázek 17 - Finální podoba měřicího přípravku a webové stránky	44

Úvod

Bakalářskou práci jsem si vybral z důvodu částečné návaznosti na bakalářský projekt z druhého ročníku bakalářského studia. Zadání bakalářského projektu bylo navrhnout a následně zrealizovat LED stroboskop pro měření otáček. Tento stroboskop je s drobnými modifikacemi použit na mé bakalářské práci. Je zde jako doplněk ukázky měření otáček. Bakalářská práce vznikala za účelem vytvoření vzdálených laboratorních úloh, které mají pomáhat a demonstrovat jednotlivé měření při výuce měření neelektrických veličin. V mém případě jede o měření otáček pro vzdálenou laboratoř.

Celá úloha je řízena PLC automatem firmy TECO a.s, konkrétně se jedná o PLC automat řady Foxtrot CP – 1008. Tento automat bylo potřeba naprogramovat pro konkrétní úlohu měření otáček. Z důvodů implementace více měřících úloh do jednoho PLC jsem musel, navrhnout převodníky elektrických veličin, díky kterým jsem ušetřil speciální vstupy PLC automatu pro další měřící úlohy.

Motivace

Motivací pro vznik této úlohy byla výpomoc při multimediální výuce. Tato úloha bude především usnadněním pro studenty kombinovaného studia, kteří nemají dostatek času na měření a budou moci provést měření z domova přes webové rozhraní, z kterého následně vypracují protokol.

Cíle práce

Navrhnout a následně zrealizovat měřící úlohu. Úloha by měla být zaměřena na měření otáček DC motoru, tachodynamu (tachogenerátoru) i možnost měřit otáčky pomocí stroboskopického jevu. Úloha by měla být řízena přes webové rozhraní pomocí PLC automatu od firmy Teco a.s

1. Problematika měření otáček

Měření otáček se využívá poměrně dlouhou dobu, a proto existuje mnoho způsobů jak otáčky rotujících těles měřit. Proto se začalo rozdělovat na dva základní způsoby měření. První a nejstarší způsob je kontaktní měření otáček. Při tomto měření je snímač nebo celý měřicí přístroj spojen s rotujícím tělesem a to buďto spojkou nebo Bowdenovým kabelem. Pokud je měřicí přístroj připojen Bowdenovým kabelem, tak je možné jej umístit do vzdálenosti od měřeného rotujícího tělesa. Tohoto se dříve využívalo v leteckém a v automobilovém průmyslu. U automobilů či motocyklů se spíše nežli k měření otáček používalo pro měření rychlosti, dnes je tento způsob nahrazen měřením bezkontaktním. Protože u bezkontaktního měření nevzniká tření mezi pevným jádrem a pružným obalem Bowdenova kabelu. Vlivem tohoto tření se opotřebovávají třecí plochy a dochází k přerušení pevného jádra.

Druhý způsob měření otáček je tedy bezkontaktní, jak již bylo zmíněno. Jedná se tedy o měření otáček bez dotyku s rotujícím tělesem. Snímač nebo měřicí přístroj je umístěn buďto v těsné blízkosti rotujícího tělesa nebo je ve větší vzdálenosti. Snímače, které jsou umístěny v těsné blízkosti a využívají magnetické indukce, změny kapacity nebo se snímají světelné impulzy. U snímačů, nebo spíše u měřicích přístrojů umístěné ve větší vzdálenosti se využívá stroboskopického jevu a snímání světelných impulzů.

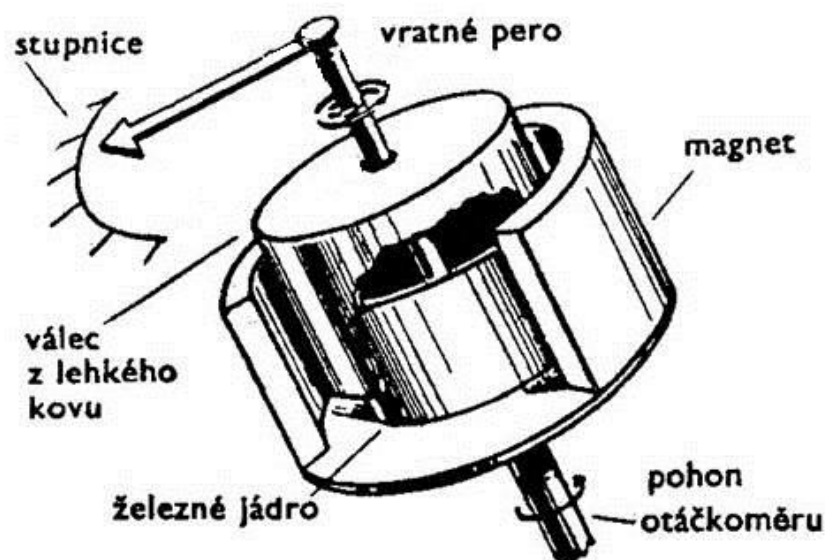
Třetím způsobem měření otáček je kombinace prvních dvou. Sice snímač je spojen s rotujícím tělesem, ale měření probíhá bezkontaktně pomocí snímání světelných impulzů. Já jsem tento snímač zařadil do kategorie kontaktních snímačů.

1.1 Kontaktní snímače

- Magnetické
- Odstředivé
- Tachodynamy
- Tachogenerátory
- Inkrementální snímače

1.1.1 Magnetický snímač

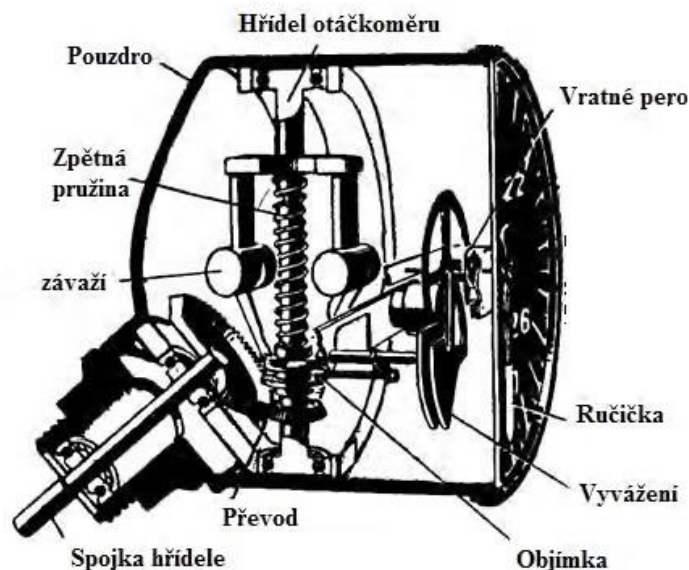
Princip magnetického otáčkoměru je takový, že při přivedení točivého momentu na pohon otáčkoměru roztočíme permanentní magnet na obr. 1. Tím se vytváří vířivé magnetické pole a na dutém válci z lehkého kovu se vytváří točivý moment. Točivý moment musí být tak velký, aby překonal sílu vratné pružiny, která vrací ručičku do nulové polohy. Tyto otáčkoměry, se používaly v letadlech a dnes se již nepoužívají a jsou zde zařazeny jen z hlediska historického. [16]



Obrázek 1. Funkční schéma magnetického otáčkoměru [16]

1.1.2 Odstředivý snímač

Odstředivý snímač otáček je založen na principu Wattova regulátoru. Na spojku hřídele, která je na obr. 2 se přivede pomocí Bowdenova kabelu točivý moment, který se přenáší přes převod na hřídel otáčkoměru. Tento moment se přenáší na závaží Wattova regulátoru, jež je spojen táhly k objímce. Aby se ručička otáčkoměru pohnula, musí točivý moment být tak velký, aby vytvořil dostatečně velkou odstředivou sílu, a tím se závaží začne roztahovat. Toto vyvolá pohyb objímky, která přenesení pohyb na ručičku a vychýlí ji. Vratné pero plní funkci nastavení nulové hodnoty. Odstředivé otáčkoměry, se používaly za druhé světové války v letadlech a jsou zde zařazeny, také jen z historického hlediska. [16]



Obrázek 2. Funkční schéma odstředivého otáčkoměru [16]

1.1.3 Tachodynamo

Neboli stejnosměrný elektrický otáčkoměr, který funguje na principu indukce elektrického napětí v rotujícím vinutí, na které působí magnetické pole. Tachodynamo se skládá z rotoru, které je tvořeno z kostry a vinutí. Kostra rotoru musí být zhotovena z materiálu, který je bez obsahu feromagnetických látek. Vinutí je tvořeno cívkou navinuté na kostře rotoru, na které se indukuje napětí. Toto napětí U je přímo úměrné úhlové rychlosti ω rotoru. Na rotoru je ještě komutátor, jehož funkcí je přenos indukovaného napětí na svorky a přeměna střídavého proudu na stejnosměrný.

Druhá část tachodynamu je stator a ten je tvořen permanentním magnetem se stálým magnetickým tokem Φ . Indukované napětí je možno vypočítat ze vzorce níže.

$$U = \omega \cdot \Phi \cdot K_T$$

Kde U je výstupní indukované napětí tachodynamu ve [V], ω je úhlová rychlost rotoru v [ras/s] neboli úhlová frekvence $\omega = 2\pi f$, kde f je frekvence otáčení rotoru v [Hz]. Φ je magnetický tok v [Wb] a K_T je konstanta tachodynamu.

Musíme brát v úvahu to, že tachodynamo není tvrdý zdroj proudu a že při sebemenším zatížení nám začne vznikat úbytek napětí na vnitřním odporu voltmetru a tím začínají klesat otáčky. Tedy tachodynamo začíná fungovat jako elektronická brzda.

A proto bychom měli přizpůsobit vnitřní odpor měřidla k tachodynamu. Problém s úbytkem napětí je i na komutátoru, který by měl být vyroben z co nejlepšího materiálu a poté postříbřen nebo pozlacen. Tímto se předchází velkým přechodovým odporům. Výhodou tachodynamu je, že z polarit výstupního napětí U zjistíme směr otáčení. A také, že výstupní napětí U je přímo úměrné otáčkám rotoru, jde tedy o lineární funkci. Proto se používá jako snímač otáček. Nevýhodou je poměrně velké zvlnění výstupního napětí U ale i magnetické rušení okolních strojů či zařízení. To ale závisí především na velikosti tachodynamu.

Na obr. 3 je ukázka sériově vyráběného tachodynamu českou firmou ATAS elektromotory Náchod a.s. Pro domácí pokusy se dá využít levnější tachodynamo, respektive se jedná o stejnosměrný motor s permanentním magnetem. Tento motor má ale jednu nevýhodu a to tu, že výstupní napětí má poměrně malé. Jedná se řádově o stovky milivoltů až jednotky voltů, což záleží na použitém motoru respektive permanentním magnetu. [21]



Obrázek 3. Tachodynamo od firmy ATAS elektromotory Náchod a.s. [2]

1.1.4 Tachogenerátor

Tachogenerátor neboli střídavý elektrický otáčkoměr, který je zobrazen na obr. 4 a funguje na principu indukce elektrického napětí v cívce statoru vlivem točivého magnetického pole rotoru. Výstupem z tachogenerátoru je střídavé napětí U_{AC} o různé frekvenci f . Výstupní střídavé napětí U_{AC} se pohybuje od 10 – 100 V. Toto napětí

můžeme naměřit pouze v nezátíženém stavu, protože maximální zatížení tachogenerátoru se pohybuje od desítek mW do jednotek W. Frekvence, je závislá na otáčkách rotoru a také na počtu pólových nástavců např. 2, 8 nebo 48 pólových nástavců. Pólový nástavec neboli pól pár představuje jeden magnet se severním a jižním pólem. A tedy počet pólových dvojic udává počet severních a jižních pólů v rotoru tachogenerátoru. Každý počet pólových nástavců má při předepsaných otáčkách určitou frekvenci. Pro měření nízkých otáček se používá dvacet a více pólových nástavců. Vzorec pro výpočet otáček viz níže, kde n jsou výsledné otáčky v $[s^{-1}]$, f je frekvence v $[Hz]$ a p je počet pólových nástavců.

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$

Výstupní signál bývá zkreslen a je na něj navázán vyšší harmonický signál. Zkreslení lze eliminovat vhodnou volbou tvaru pólových nástavců. Po tachogenerátoru požadujeme sinusový výstupní signál, který může být při vyšších otáčkách ovlivňován ohřevem statoru. Výhody tachogenerátoru je delší životnost, protože nepoužívá komutátor a tím tedy nevznikají přechodové odpory na komutátoru a kartáčích a nezatěžuje výstupní napětí. Absencí komutátoru a kartáčů neovlivňuje okolní stroje a přístroje rušením, které běžně vzniká na přechodu kartáč komutátor. Nevýhodou je nelineární průběh napětí v závislosti na otáčkách rotoru, při vyšších otáčkách. A nelze z naměřeného napětí zjistit směr otáčení. [21]



Obrázek 4. Tachogenerátor od firmy ATAS elektromotory Náchod a.s. [2]

1.1.5 Inkrementální snímače

Neboli optoelektrické rotační snímače, které se používají pro měření otáček i k měření natočení (polohy). Tento snímací prvek se skládá z fotodiody, fototranzistoru a děrovaného kotoučku. Kde fotodioda a fototranzistor tvoří tzv. optickou bránu, kde svazek světla prochází skrze děrovaný kotouček a dopadá na fototranzistor. Pokud svazek světelných paprsků prochází dírkou v kotoučku, tak se tranzistor otevře a na kolektoru tohoto tranzistoru se objeví impuls. Tento impuls se nadále upravuje Shmittovým klopným obvodem. Pokud tedy svazek paprsků prochází, tak je na výstupu Shmittova klopného obvodu logická úroveň 1. A když paprsek neprochází skrze kotouček je na výstupu logická úroveň 0.

Snímač se dá přirovnat potenciometru, který nemá zarážku a může se otáčet neustále dokola. Snímač se používá právě i jako elektronický potenciometr, ale také jako ovládací prvek na různých zařízeních. Výstupní veličina zde sice není odpor, ale jak jsem již zmínil impulsy, kterých může být různý počet. Počet impulsů udává výrobce a je určen počtem děr v kotoučku. Z pravidla se vyrábí inkrementální čidla s 10 – 3600 impulsy na otáčku. Čidla s 3600 impulsy na otáčku se dají použít na měření natočení (polohy). Tedy jeden impuls odpovídá natočení o jednu desetinu stupně. Na obr. 5 je ukázka inkrementálního čidla od firmy MEGATRON s.r.o. [15]



Obrázek 5. Inkrementální snímač [15]

1.2 Bezkontaktní snímače:

- Indukční snímače
- Kapacitní snímače
- Snímač magnetického pole
- Optické snímače
- Snímání pomocí stroboskopického efektu
- Snímání pomocí stroboskopického kotouče

1.2.1 Indukční snímače

Indukční snímač pro měření otáček je tvořen z jádra a cívky. Jádro snímače je složeno většinou z oceli a permanentního magnetu. Magnetický obvod se uzavírá přes ocel v jádře cívky a jednotlivé zuby ozubeného kola. A měří se změna indukčnosti cívky snímače, který je na obr. 6. Tato změna indukčnosti se projeví kolísáním napájecího napětí na cívce. Kolísání napájecího napětí je přímo úměrné otáčkám ozubeného kola. Ozubené kolo je nutnou součástí pro měření indukčním snímačem. Kotouč se přidělá na rotující těleso. Indukční snímač se přidělá v těsné blízkosti zubů ale mezi zuby a čidlem musí být vzduchová mezera. Vzduchová mezera ovlivňuje citlivost indukčního snímače, proto musí být velmi blízko ozubenému kolu. Indukčnost snímače je možno vypočítat ze vztahů níže.

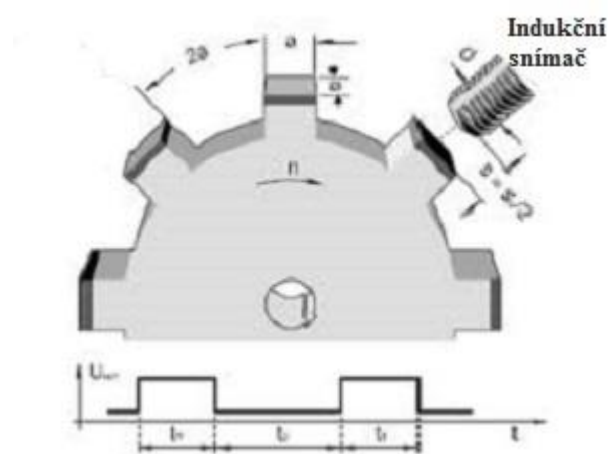
$$L = \frac{N^2}{R^2}$$

$$R = R_{Fe} + R_{vm}$$

Kde L je vlastní indukčnost snímací cívky v [H], N je počet závitů snímací cívky[-], R je odpor, který se skládá ze součtu odporů R_{Fe} a R_{vm} . Kde R_{Fe} je odpor jádra cívky v [Ω] a R_{vm} je odpor vzduchové mezery mezi indukčním snímačem a ozubeným kotoučem v [Ω]. Maximální měřitelné otáčky indukčním snímačem jsou limitovány konstrukcí snímače a jsou uváděny výrobcem. Výpočet otáček je možno provést pomocí vzorce níže.

$$n = \frac{60 \cdot f}{K}$$

Kde n je počet otáček v $[s^{-1}]$, f je frekvence kolísání napětí na cívce v $[Hz]$ a K je počet zubů rotujícího kotouče $[-]$. Výhoda tohoto snímače je, bezkontaktnost a z toho vyplívá, že je v podstatě neopotřebitelný oproti kontaktním snímačům např. tachodynamo nebo tachogenerátor. Nevýhodou je citlivost na elektromagnetické rušení. Takže se musí buďto dobře odstínit, nebo použít např. kapacitní snímač. [21]



Obrázek 6. Indukční snímač otáček [5]

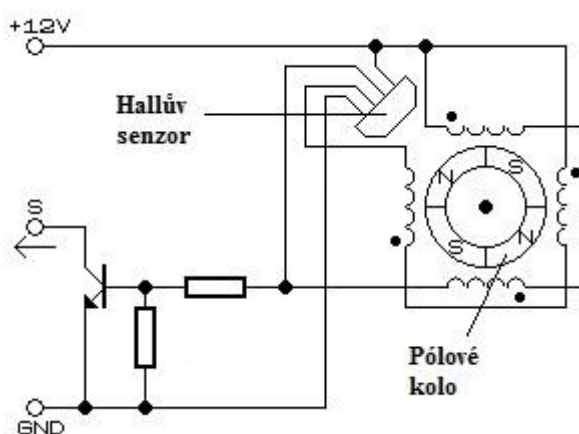
1.2.2 Snímač magnetického pole

Měření otáček pomocí snímače magnetického pole, kde snímač je polovodičový prvek fungující na principu Hallova jevu. Hallův jev využívá změny magnetického pole v okolí magnetického nulového bodu $B = 0T$. Magnetické pole se snímá z magneticky aktivního rotoru (pólové kolo). Intenzita magnetického pole klesá se vzdáleností Hallova senzoru, ale neklesne nikdy pod úroveň magnetického nulového bodu. Hallův senzor jak jsem již zmínil je polovodičový prvek, který funguje jako tranzistor a je spínán magnetickým polem. Tato metoda se hodně využívá u měření otáček počítačových ventilátorů, kde je rotor opatřen permanentním magnetem s dvěma pólovými nástavci.

Hallovy snímače jsou dnes často používány pro měření otáček (rychlosti) u jízdních kol. Někteří výrobci ve snaze snížit náklady zaměňují je za jazýčkové relé, které plní

stejnou funkci. Na obr. 7 je vidět použití Hallova senzoru pro měření otáček PC ventilátoru.

Výhodou Hallova senzoru jsou především rozměry a díky tomu je možno do senzoru umístit i elektroniku pro úpravu signálu, který se nadále může zpracovávat v PC. Je tedy možné senzor použít v podstatě ve všech možných aplikacích. Nevýhodou je poměrně jednoduché zarušení elektromagnetickým polem. Musí se tedy dobře odstínit od elektromagnetického pole. [21]



Obrázek 7. Použití Hallova senzoru u PC ventilátoru [17]

1.2.3 Optické snímače

Do těchto druhů snímačů patří optická závora, která se používá i v kontaktním snímači otáček či natočení (inkrementální čidlo). V praxi se používají dva druhy optických závor a to jednocestné a dvoucestné. Jednocestná optická závora je složena z vysílače fotodiody a přijímače fototranzistoru. Každý z těchto prvků je zvlášť ve svém obalu (krytu). Kvůli odolnosti při použití v různých pracovních prostředích se označují na jednotlivých snímačích zkratkou IP XX. Kde XX jsou čísla od 1 – 7 a první číslo nám říká jak velký předmět či částice může vniknout do vnitřku snímače. Druhé číslo nám udává odolnost vůči vodě a vzdušné vlhkosti. Prvek s fotodiodou je v podstatě zdroj proudu pro fotodiodu a samotná fotodioda neustále vyzařuje svazek paprsků světla. Toto světlo přijímá prvek fototranzistor a elektronika uvnitř prvku upravuje výstupní signál z tranzistoru na požadovanou úroveň. Otáčky se měří čítačem, nebo nadřazeným řídicím systémem. Tento systém nebo čítač čítají impulzy, které vznikají přerušováním svazku paprsků světla. Přerušování se provádí děrovaným kotoučkem

s libovolným počtem děr po obvodu. Čím více děr po obvodu kotoučku, tím více impulsů na otáčku, čímž se dá měřit i úhel natočení.

Reflexní neboli dvoucestné optické snímače využívají také přerušování svazku světelných paprsků. Fotodioda a fototranzistor jsou umístěny v jednom pouzdře. Svazek světelných paprsků se odráží od reflexního materiálu a vrací se zpět ke snímači. Pro měření otáček reflexním snímačem se musí nalepit reflexní materiál na rotující těleso. Při rotaci reflexního materiálu na tělese nám snímač na výstupu dá jeden impuls na otáčku. Proto se tento způsob používá jako měření otáček a ne natočení. Dnes se také používá hodně v automatizaci pro počítání průchodů buďto lidí ve vestibulech nebo počítání zboží na dopravních pásích ve výrobnách. Ale používá se i jako zabezpečovací systém, před úrazy například ve výtahových šachtách.

1.2.4 Snímání pomocí stroboskopického efektu

Metoda snímání otáček využívá fyziologické nedokonalosti lidského oka. Jedná se o jev, při kterém se rotující těleso zdá být v klidu. Aby se tohoto efektu docílilo, je zapotřebí světelný zdroj s proměnnou frekvencí. V minulosti se používaly výbojky, ale dnes s příchodem nových technologií dochází k náhradě LED diodami. Světelným zdrojům s proměnnou frekvencí se říká stroboskopy. Ty se využívají ke snímání otáček pomocí stroboskopického efektu. Blikáním stroboskopu na rotující těleso se vyvolá vjem, že rotující těleso stojí. Frekvence blikání stroboskopu musí být stejná, jako je frekvence otáčení. Pokud je frekvence blikání nižší, tak těleso rotuje pomaleji ve směru rotace a když je frekvence vyšší, tak těleso rotuje pomaleji v opačném směru. Pro lepší určování otáček se na rotující těleso nalepuje reflexní materiál. Výsledné otáčky je možno vypočítat ze vzorce níže.

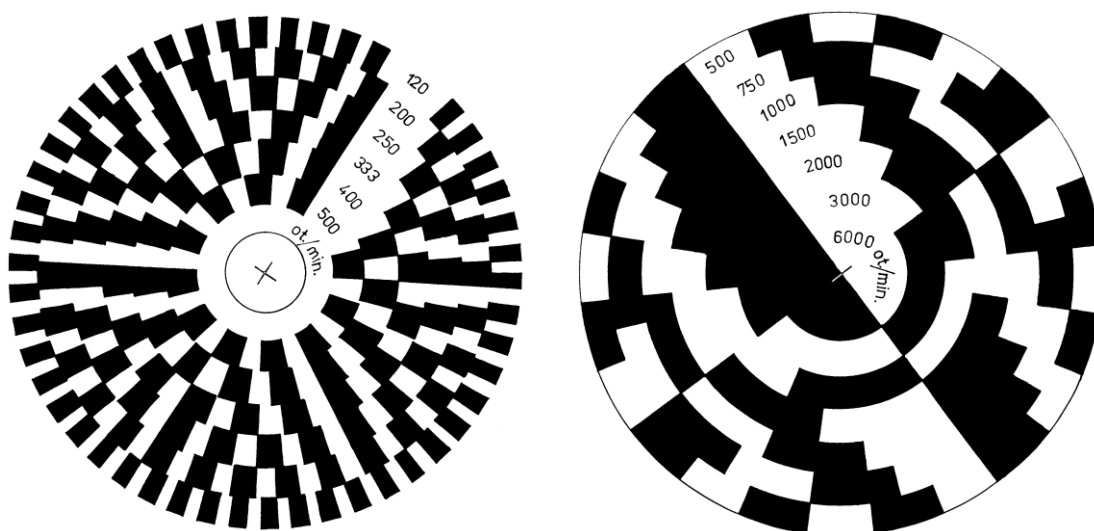
$$n = f * 60$$

Kde n jsou výsledné otáčky v $[s^{-1}]$ a f je frekvence blikání v $[Hz]$. Tato metoda je podrobněji popsána v následující kapitole 2.

1.2.5 Snímání pomocí stroboskopického kotouče

U této metody se také využívá stroboskopického jevu ale trochu jiným způsobem. Na hřídel, nebo ještě lépe na kotouček nasazený na hřídeli motoru nalepíme stroboskopický kotouček, který je na obr. 4. Stroboskopický jev se lépe pozoruje při přišetí. Vhodným osvětlovacím zdrojem jsou zářivkové trubice, nízkotlaké a vysokotlaké výbojky, které blikají s frekvencí napájecí sítě. Nevhodným osvětlovacím zdrojem jsou žárovky, kompaktní úsporné zářivky a LED napájené stejnosměrným zdrojem. Nevhodné jsou z toho důvodu, že neblíkají s frekvencí napájecí sítě, tedy svítí s konstantním světelným tokem. Nebo blikají s vlastní frekvencí elektronického startéru, to platí především pro kompaktní úsporné zářivky a zářivková tělesa s elektronickými startéry. Z toho plyne, že tato metoda je vhodná pro motory připojené k distribuční rozvodné soustavě, tedy pro motory napájené napětím 230 V nebo 400 V 50 Hz. Konkrétně pro motory synchronní a asynchronní.

Princip měření otáček je takový, že při roztočeném motoru s ustálenými otáčkami posvítíme na stroboskopický kotouček vhodným osvětlovacím zdrojem. Poté pozorujeme stroboskopický jev, který se projevuje zastavením, přetáčením či nedotáčením vnitřních kroužků stroboskopického kotoučku. Pokud se vnitřní kotouček zastaví tak se otáčky motoru rovnají otáčkám napsaným na kotoučku. Jsou-li otáčky motoru mezi otáčkami vnitřních dvou kroužků stroboskopického kotoučku, tak se jeden kotouček přetáčí a druhý se nedotáčí.

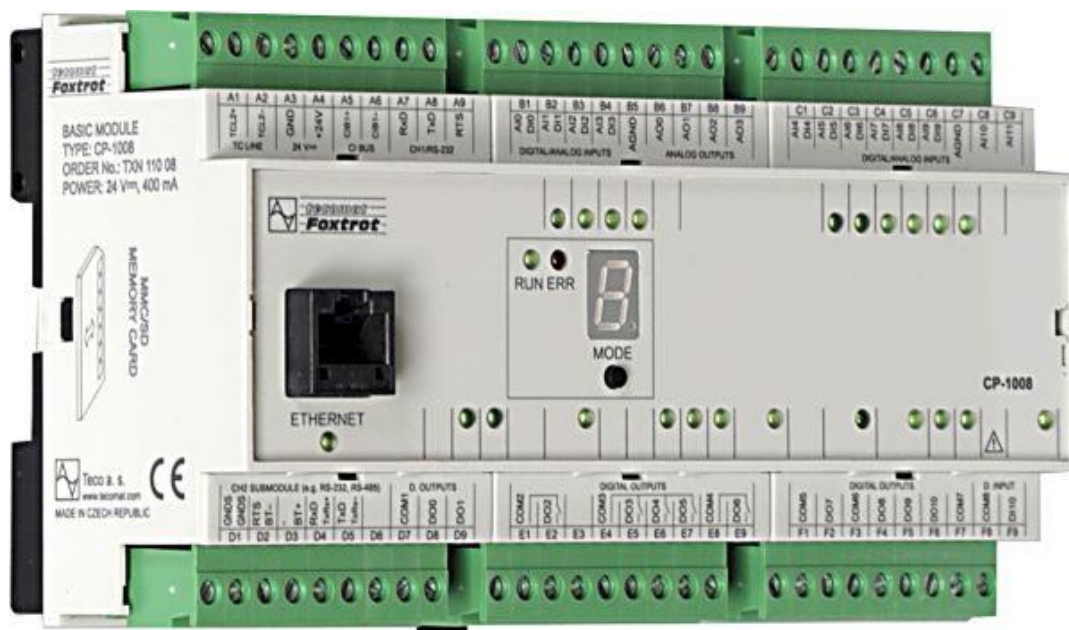


Obrázek 8. Stroboskopické kotoučky [1]

2. Struktura vzdálené úlohy

Vzdálená úloha vznikla pro podporu výuky předmětu měření neelektrických veličin především jako podpora pro studenty kombinovaného studia. Z důvodu nedostatku času na cvičení si budou moci měření provést z domova přes PC. Jak již název bakalářské práce napovídá, jde o vzdálenou úlohu řízenou přes webové rozhraní. Úloha bude řízena pomocí PLC automatu, což je hlavní částí vzdálené úlohy pro měření otáček. Pro svojí vzdálenou úlohu jsem použil PLC automat Tecomat foxtrot CP-1008, jež je na obr. 9. Jedná se o výkonnou jednotku s univerzálními vstupy, výstupy a komunikačními rozhraními.

PLC automat má mnoho vstupů např. napěťové, binární a vstupy pro teplotní čidla. Některé vstupy se dají nastavit softwarově na tyto tři základní možnosti. Je možné je nastavit i na vyvážený odporový vstup pro zabezpečovací techniku. Z výstupů to jsou např. analogové výstupy s aktivním spínacím prvkem tryakem, binární výstupy reléové nebo s SSR a také má analogové výstupy, které se dají nastavit, jako PWM regulátor ale pouze pro spotřebiče napájené síťovým napětím, protože spínací prvek je tryak. PLC automat také obsahuje velké množství komunikačních rozhraní, jako je např. Ethernet, sériová linka, CIB a TLC2 o komunikačním rozhraní je napsáno více v kapitole níže.



Obrázek 9. PLC automat Foxtrot CP – 1008 [19]

Z důvodů úspory speciálních vstupů a výstupů PLC automat jsem se rozhodl použít rozšiřující modul, který je na obr. 10. Tento rozšiřující modul komunikuje s PLC automatem přes CIB sběrnici, která je popsána v samostatné kapitole. Tento modul nám rozšiřuje základní výkonnou jednotku o 4 napěťové výstupy a 5 vstupů. Výstupy jsou analogové a můžou se jimi řídit zařízení v rozsahu 0 – 10 V. Analogové vstupy jsou primárně určeny pro měření teploty za pomoci termistorů Pt1000, Ni1000 atd., ale je také možné použít, jako vyvážené odporové vstupy 2 x 1,1 kΩ. Výhodou tohoto modulu je rozměr a způsob komunikace s PLC automatem. Díky malým rozměrům se hojně používají v automatizaci a v tzv. inteligentních budovách, protože se vejdou do elektroinstalační krabice. Nevýhodou je, že vstupy tohoto modulu jsou pouze pro měření teploty.



Obrázek 10. Rozšiřující modul CIB [19]

2.1 Komunikační rozhraní

Komunikační rozhraní Ethernet se používá pro programování, nebo síťování více PLC automatů. Pomocí sériové linky CH1 a CH2 může komunikovat s PC a PLC. Sériová linka CH1 je vyhrazena pro RS – 232 a CH2 je volitelná pomocí sub modulů. Sériová linka CH2 může používat komunikační sběrnice RS – 232, RS – 485, RS – 422, Profibus DP a CAN, které se používají pro připojování externích modulů. PLC automat používá pro rozšíření vstupně/výstupních portů sběrnice TCL2 a CBI. RS – 485 a RS – 422 mají stejný základ a to RS – 232, jedná se o sériový asynchronní komunikační protokol, který začíná sestupnou hranou. Sestupná hrana nám synchronizuje přenos a za

touto hranou je už jen start bit, datové slovo, paritní bit a jeden nebo i více stop bitů. Rozdíl mezi RS – 232 a RS – 485, RS – 422 je ten že RS – 485 a RS – 422 jsou polo duplexní a využívají buďto dva nebo čtyři vodiče. RS – 232 používá pro každý signál samostatný vodič a jednu společnou zem, kdežto RS – 485 a RS 422 používá tzv. TP(kroucený pár), je to stejný princip jako používá Ethernetový UTP nebo STP kabel. A to z důvodu odolnosti proti rušení, protože RS – 485 a RS – 422 jsou průmyslové komunikační sběrnice. Další rozdíl je v napěťových úrovních signálu. Výhody RS – 485 a RS – 422 je jak v možné délce komunikace až 1200 m, tak i v přenosové rychlosti a to až 2,5 Mbit/s. Rozdíl mezi RS – 485 a RS – 422 je v tom, že RS – 485 může komunikovat po dvou TP vodičích zároveň, kdežto RS – 422 je určena pro propojení point – to – point jako RS – 232 a někdy se používá jako prodloužení RS – 232. Více je tedy v průmyslu používaný sběrnice RS – 485. [9]

Profibus neboli průmyslová sběrnice je dnes jednou z nejrozšířenějších sběrnic používající se v průmyslové automatizaci i v elektrických rozvodech tzv. inteligentních budov. Profibus se používá pro komunikaci mezi PLC a vstupně výstupními moduly. Sběrnice profibus může diagnostikovat a monitorovat stav decentralizovaného systému a tím přispívá k bezpečnosti a spolehlivosti celého systému. Profibus je možno zapojovat ve čtyřech základních topologiích: sběrnice, strom, hvězda a kruh. Profibus DP využívá pro komunikaci RS – 485 a preferovanou topologií je zapojení do sběrnice, kde rychlost přenosu dat závisí na délce sběrnice. Přenosová rychlost je od 9,6 kbit/s při délce 1200 m do 12 Mbit/s při délce 100 m. Na jeden segment je možné připojit 32 zařízení a celkově je možné připojit až 127 zařízení a to vše jen přes stíněnou kroucenou dvojlinku. [10]

Sběrnice CAN se nejčastěji používá pro sériovou datovou komunikaci mezi jednotlivými řídicími jednotkami ale i komunikaci mezi řídicími jednotkami a senzory v automobilech. Tato sběrnice se začala také hojně používat i pro průmyslovou automatizaci. Tato sběrnice může dosahovat přenosové rychlosti až 1 Mbit/s. Sběrnice CAN byla původně postavena na rozhraní RS – 485, která dále byla upravena normou ISO. Tedy jedná se také o dvouvodičovou sběrnici s vodiči CAN_H a CAN_L, které jsou zakončovány rezistory o odporu 120 Ω . Tato sběrnice je velmi odolná a spolehlivá proti rušení a proto se především používá v automobilovém průmyslu. [6]

2.1.1 Ethernet

Komunikace pomocí Ethernet se připojuje klasickým konektorem RJ – 45. Základní přenosová rychlost tohoto komunikačního rozhraní je 10/100 Mbit. Pro propojování a síťování se používá standardně kroucená dvojlinka, tedy UTP nebo STP. A to v zapojení přímém (TP kroucený pár) nebo v zapojení kříženém (UTP nebo STP patch kabel). TP kabel se používá nejvíce a je určen na propojení mezi PLC automatem a switchem, který dál signál přepíná do koncových zařízení (síťová karta PC) nebo se používá na přímé propojení se systémem Foxtrout. V kabelu se využívá pouze čtyř signálů (RD+, RD-, TD+,TD-) ostatní kabely jsou nevyužity. Základní modul umí vytvořit webovou stránku v jazyku XML. Přes tuto stránku je možné kontrolovat aktuální stav PLC i jej ovládat přes internet. Také se může Ethernet využít k propojení s více PLC automaty a vytvořit tak rozsáhlý řídicí systém. [19]

2.1.2 TCL2

TCL2 slouží pro rozšíření základního modulu o další vstupy a výstupy. Tato vstupně výstupní zařízení mohou být umístěna až ve vzdálenosti 300 m od centrální jednotky za použití metalických vodičů a do vzdálenosti 1,5 km s použitím optických vláken. Výhodou optických vláken není jen vzdálenost jednotlivých sub modulů ale i odolnost proti rušení. Sběrnice TCL2 používá pro komunikaci RS – 485 a umožňuje vytvořit rozlehlý decentralizovaný řídicí systém. Na sběrnici je možno připojit až 10 submodulů, které mají různé vstupy a výstupy. [4]

2.1.3 CIB

Sběrnice CIB slouží pro rozšiřování základního modulu. Moduly používající sběrnici CIB se nazývají CFox a jsou připojeny dvěma vodiči k základnímu modulu. Tato sběrnice je dvouvodičová a nese na těchto vodičích jak napájení, tak i komunikaci pro všechny připojené moduly. Velikost napájecího napětí CIB modulů je 24 V. Maximální proud odebíraný z CIB sběrnice je 100 mA. Maximální doba přenosu

informace po CIB je garantována na 150 ms a rychlost přenosu informace je 19,2 kb/s. Sběrnice se na rozdíl od TCL nemusí na konci impedančně přizpůsobovat. A tedy je možno ji libovolně větvit a propojovat s moduly CFox až na zapojení do kruhu. Maximální délka připojení CFox modulů je 300 m při použití měděného kabelu a až 1,7 Km při použití optického kabelu. Tato délka neovlivní dobu přenosu informace. Na jednu sběrnici CIB může být připojeno až 32 periferních modulů CFox. Pokud by tento počet modulů nestačil, tak se může rozšířit pomocí modulu Master, který poskytne další dvě CIB sběrnice. Moduly je také možné zálohovat proti výpadkům elektrické sítě záložním zdrojem (2 x 12 V), který napájí PLC automat a všechny periferní moduly. Součástí sběrnice je protokol, který umožňuje identifikaci jednotlivých CFox modulů. Každý z modulů má svou unikátní šestnácti bitovou adresu. Podle tohoto označení se dá zjistit počáteční nastavení parametrů a konfigurace, dálková diagnostika i upgrade firmwaru. Adresa je napsána na modulu a má tvar čtyř hexadecimálních číslic. CIB sběrnice umí detekovat nepřítomnost jednoho či více CFox modulů a má tedy pod neustálou kontrolou všechny CFox moduly. Když přestane komunikovat jeden či více modulů, tak může PLC automat vykonat nějakou rutinu. [3] [7]

2.2 Programovací jazyk PLC

PLC neboli programovatelné logické automaty se programují ve vývojovém prostředí Mosaic dodávané firmou Teco a.s. Program Mosaic je volně dostupný na stránkách výrobce PLC automatů, tedy na www.tecomat.cz pod záložkou software je možné stáhnout nejnovější verzi programu. Jedná se o integrované vývojové prostředí, které má v sobě implementované vývojové nástroje pro tvorbu, kompilaci a ladění programů. Mosaic bez hardwarového klíče je spuštěn ve verzi lite, která se používá pro výuku a simulace. Hardwarový klíč představuje samostatný PLC automat propojený pomocí Ethernetového kabelu s PC. Poté je k dispozici plná verze programu Mosaic. V Mosaicu je možné programovat všechny PLC automaty vyráběné firmou Teco a.s.

PLC automat se programuje podle normy IEC 61 131 – 3, kde se programuje buďto v textovém jazyku IL či ST, nebo programování pomocí grafického jazyka LD a FBD. Programy se skládají z tzv. PAU, což jsou programové organizační jednotky. Tyto jednotky jsou buď funkce, nebo funkční bloky a nejvyšší jednotkou je program. Grafické programování je jednoduché a hodně se využívá při výuce. Jednotlivé bloky se

vybírají v nástrojové liště grafického editoru programu. Jde o skládání a propojování funkcí či funkčních bloků, které tvoří řídicí algoritmus. Programování v jazyku strukturovaného textu ST je algoritmus tvořen jednotlivými příkazy. Tyto příkazy neboli instrukce jsou podobné jako ve vyšších programovacích jazycích např. C.

Mosaic obsahuje i nástroje PID Maker, Panel Maker, Simulátor panel, Graph Maker a Web Maker. Pomocí těchto nástrojů lze simulovat, vypisovat nebo ovládat PLC automat. PID maker je ve skutečnosti pouze grafická nadstavba pro ladění regulačních pochodů. Panel Maker slouží pro tvorbu obsahu a textu obrazovek operátorských panelů. Simulátor Panel slouží pro kontrolu a simulaci vytvořeného algoritmu bez připojení hardwaru. Graph Maker slouží k zobrazování průběhů až 16 – ti proměnných pomocí grafu XY. Web Maker je nástroj pro tvorbu stránek XML, která je přístupná přes webový server integrovaný ve výkonné jednotce. [22]

3. Realizace úlohy

Úloha je postavena na měření otáček, kde se bude využívat kontaktního měření i stroboskopického jevu. Dále se bude měřit napětí a proud motoru a tachodynamu, z čehož se pak budou moci vypočítat otáčky a popřípadě i účinnost. Úloha se může využít i pro měření stejnosměrného (DC) motoru. Celá tato úloha je řízená pomocí PLC automatu přes webové rozhraní, kde je možné nastavovat otáčky motoru, spínat zátěž tachodynamu, zobrazovat aktuální otáčky, proud motorem a napětí na motoru. Na webové stránce je i vidět online přípravek, na kterém se provádí měření. A to díky propojení IP kamery EDIMAX s PLC automatem. Webová stránka je vytvořena ve WebMeakeru, který je součástí integrovaného vývojového prostředí Mosaic. V prostředí Mosaic je vytvořen i obslužný program pro ovládání vzdálené úlohy.

Pro řízení celé úlohy jsem se snažil použít modul (C – IT – 0504S), který má pouze napěťové výstupy a vstupy. Modul má tedy čtyři napěťové výstupy o rozsahu 0 – 10 V a pět napěťových vstupů, které jsou navrženy pro teplotní čidla Pt1000, Ni1000 atd. Tyto vstupy jsou použity pro měření proudu a napětí na motoru a tachodynamu. Protože napěťové vstupy nejsou přímo navrženy pro snímání napětí ale odporu, musel jsem navrhnout a přizpůsobit měřicí obvody. Rozsah napětí na vstupech modulu jsou 0,7 – 2 V. Pro měření jsou vstupy nastaveny pro použití termistoru Pt1000, kde teplota - 80 °C odpovídá napětí cca 0,7 V a teplota + 320 °C odpovídá napětí 1,8 V. Tento modul je připojen k PLC automatu přes sběrnici CIB. Důvod použití tohoto modulu je v propojení s PLC automatem. CIB modul totiž komunikuje s PLC automatem pouze po dvou vodičích a může být od něj vzdálen do 300 m, jak je popsáno v kapitole CIB viz výše. Je možné ho tedy umístit kdekoli v učebně.

Z toho vyplývá, že jsem musel udělat převodníky pro nastavování otáček motoru a řízení frekvence blikání LED stroboskopu. Další převodníky jsou pro snímání proudu a napětí motoru. Jedná se tedy o převodníky napětí na napětí, proud na napětí, napětí na frekvence, napětí na PWM a napětí na reléové výstupy. Jednotlivé převodníky popíši v kapitolách níže, kde bude popsán jejich návrh a princip funkce. Další nedílnou součástí bakalářské práce jsou dva napájecí zdroje, kterými jsou napájeny převodníky a motor.

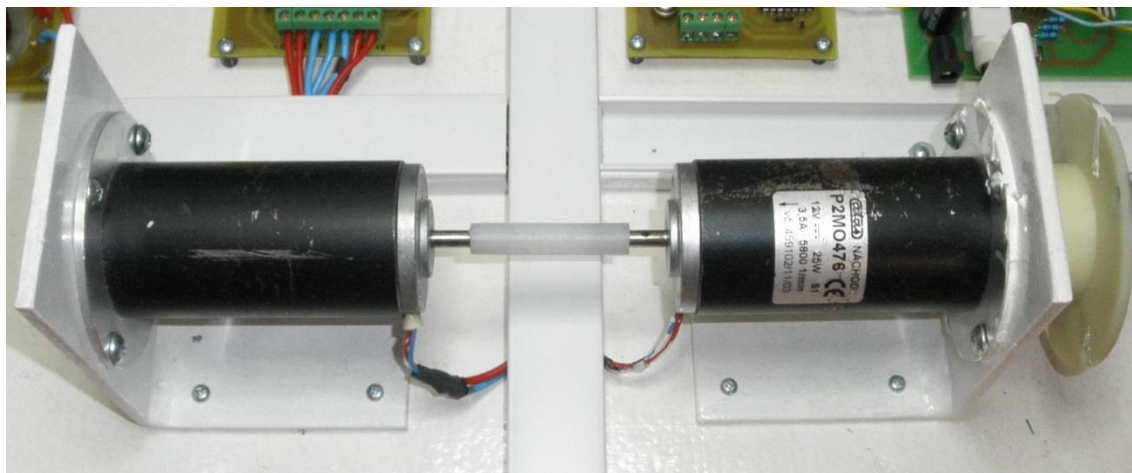
3.1 Návrh a realizace kontaktním měření otáček

Základní a zároveň stěžejní částí mé bakalářské práce bylo navržení a zhotovení kontaktního měření otáček. Jedná se o spojení dvou stejnosměrných motorů s permanentními magnety od firmy ATAS elektromotory Náchod a.s. Tyto motory jsem dostal od mého vedoucího bakalářské práce pana Ing. Jiřího Jelínka Ph. D. Parametry motorů jsou: napájecí napětí $U = 12\text{ V}$, výkon motoru $P = 25\text{ W}$, proud motorem $I = 3,5\text{ A}$, maximální otáčky motoru při hodnotách U a I jsou $n = 5800\text{ 1/min}$ a krytí motoru je IP 40, což je odolnost vůči vniknutí nástroje o velikosti ($>1\text{ mm}$) a nemá ochranu proti vniknutí vody. Pro motory jsem potřeboval, navrhnu a následně vyrobím držáky motorů. Podklady jsem vyhledal na internetu, na stránkách výrobce a použil jsem katalogový list těchto motorů. Podle katalogového listu jsem udělal rychlý výkres na papír a nechal jsem držáky motorů vyrobit ve firmě Klement a.s. Držáky mají tvar písmene L a jsou vyrobeny z 5 mm silného ocelového plechu. Přesněji jsou to svařené dva kusy ocelového pásu, kde jsou vyvrtány potřebné otvory pro přírubu motoru, příchytné a kotvící otvory.

Motor je přichycen k držáku čtyřmi šrouby M4 x 18 mm, což postačuje pro udržení motoru v horizontální poloze. Dále jsou držáky přikotveny k základní desce čtyřmi vruty 4,2 x 18 mm. Základní deska je z dřevotřísky o síle 18 mm a je nalakována do základní bílé barvy, stejně jako držáky motorů. Po přichycení a přikotvení držáků jsem musel řešit přenášení točivého momentu z motoru na tachodynamo tvořené druhým motorem. Po marných pokusech s hadičkou z ostříkovačů a stahovacích pásků jsem nechal vyrobit trubičku z nylonu, která se osvědčila a přenese bez problému točivý moment. Trubičku vyráběla firma Klement a.s. a je vyrobena s přesností na 0,01 mm. Je vyrobena s takovou přesností, aby nedocházelo k vibracím. Trubička není vůbec jištěna, protože je vyrobena tak těsně, že přilnula k hřídeli motoru. Ale je možno i trubičku zajistit kolíky, které procházejí hřídelí motoru. Zatím tato možnost nebyla zapotřebí.

Další a zároveň poslední částí spojení motor – tachodynamo je kotouček pro bezkontaktní měření otáček pomocí LED stroboskopu ale je možné ho využít i pro měření otáček za pomoci optické závory. Kotouček vyráběla také firma Klement a.s. a je vyrobena také z nylonu jako spojovací trubička. Kotouček má průměr 80 mm a má po obvodu vyvrtané čtyři dírky. Tyto dírky jsou vyvrtány symetricky, aby nevznikali při rotaci nežádoucí vibrace. Mohou se využívat pro bezkontaktní měření otáček pomocí již

zmíněné optické závory. Na kotouček byl na závěr umístěn jeden reflexní prvek, který se používá pro měření otáček za pomoci LED stroboskopu. Na obr. 11 je vidět základní stavební kámen mé bakalářské práce.



Obrázek 11. Spojení motor – tachodynamo

3.2 Návrh a realizace zdroje pro motor 12 V / 3,5 A

Dalším úkolem bylo, navrhnout a zrealizovat zdroj pro motor. Ve skutečnosti ze začátku šlo jen o drobnou úpravu zdroje Diametral 5 V / 3 A, který mi dal také můj vedoucí bakalářské práce. Posléze z kompletního zdroje zbyla pouze kovová krabice a transformátor a ani transformátor nezůstal beze změn. Protože transformátor měl svařené plechy, tak úprava převinutím sekundárního vinutí nebylo možné. Naštěstí transformátor měl na sekundárním vinutí místo pro přivinutí několika závitů. Proto jsem přivinutím několika závitů vytvořil odbočku vinutí. Tímto se podařilo z transformátoru, který měl při zatížení 10 V / 3,5 A zdroj 14 V / 3,5 A toto napětí už stačilo pro 12 V LDO stabilizátor.

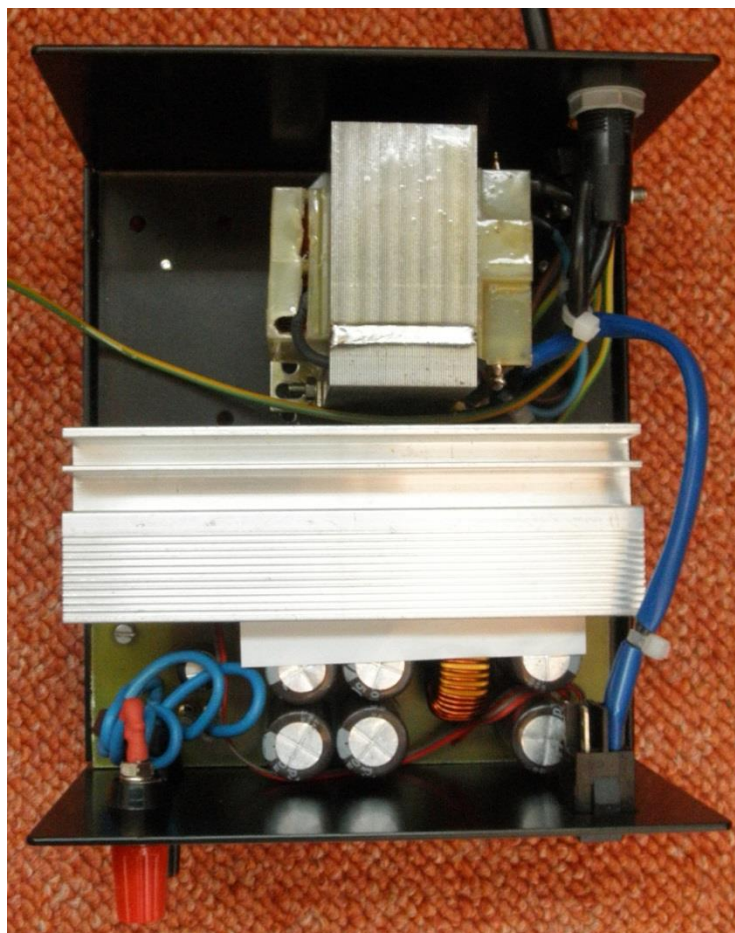
Z mých předešlých zkušeností jsem věděl, že motory s komutátorem jsou velkým zdrojem rušení a z tohoto důvodu má zdroj poměrně velkou filtrační kapacitu a k tomu je ještě přidán dolnoproustný filtr LC. LC filtr je tvořen vstupní filtrační kapacitou C a cívkou L navinutou na toroidním jádře ze železného prachu. Toroidní jádro bylo vymontováno z počítačového spínaného zdroje, kde sloužila jako výstupní

tlumivka. Toroidní tlumivku jsem vybral z důvodů rozměrů a nízkého magnetického rozptylového pole. Na toroidním jádře je navinuto 60 závitů smaltovaného měděného drátu o průměru 2 mm. Při dosazení průměru do vzorce:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad [m^2; m]$$

Vyšel průřez vodiče 3,142 mm² a při proudové hustotě 3 A / mm² tento měděný vodič plně postačuje. Cívka by se tedy neměla nadměrně ohřívat ani při plném zatížení zdroje. Tímto se snížilo riziko vysokých teplot v těsné blízkosti elektrolytických kondenzátorů, které jsou sice na teplotu 105 °C, ale vystavování těchto součástek vyšším teplotám rapidně snižuje jejich životnost. Další součástí zdroje je stabilizátor napětí. Stabilizátory se vyrábí pro maximální proudy 3 A, tak jsem musel použít posilující tranzistor. Doma jsem měl spoustu výkonových tranzistorů vodivosti NPN, ale žádný s vodivostí PNP, který je potřeba pro kladné stabilizátory.

Rozhodl jsem se použít záporný stabilizátor a posilující tranzistor vodivosti NPN. Stabilizátor je typu 7912, tedy záporný stabilizátor – 12 V / 1 A, kde před vstupní svorkou je zařazen rezistor o odporu 100 Ω a úbytkem na tomto rezistoru se otevírá přechod kolektor emitor výkonového tranzistoru. Rezistorem se nastavuje proud protékající stabilizátorem, v mém případě stabilizátorem teče maximální proud 100 mA a zbývající proud protéká výkonovým tranzistorem. Stabilizátor je blokován na vstupní i výstupní svorce proti zemi 100 nF kondenzátory proti rozkmitání. Dále je na výstupu blokovací kondenzátor 100 μF, který blokuje malé změny napětí na výstupu. Pro jistotu jsem na vodiče propojující DPS se zdírkami dal feritový toroidní prstýnek a vytvořil tak symetrický filtr pro případ, kdyby byl motor řízen vysokou frekvencí anebo by rušení z komutátoru mělo vysokou frekvenci. Schéma zapojení a DPS jsou zobrazeny v příloze. Na obr. 12 je vidět kompletní zdroj před jeho uzavřením.



Obrázek 12. Zdroj 12 V / 3,5 A

3.3 Návrh a realizace filtru

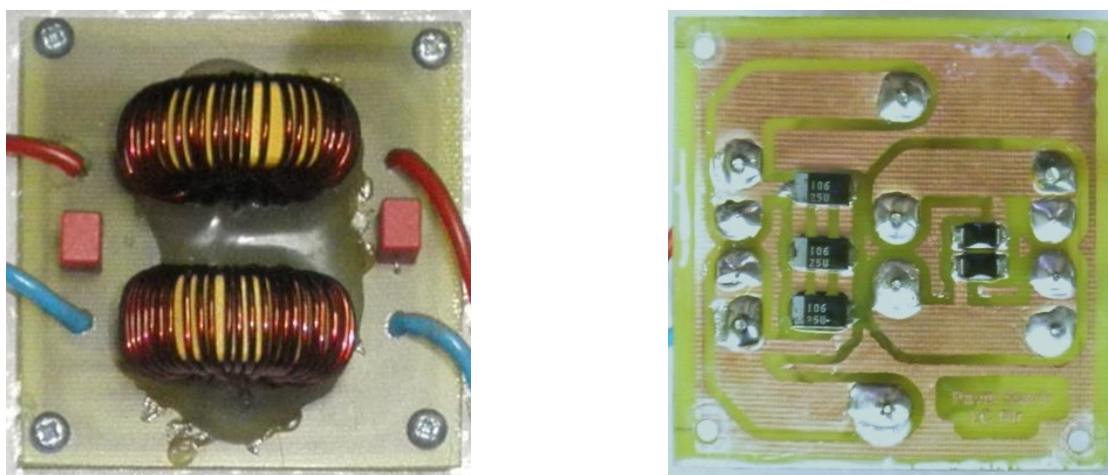
Filtr jsem se rozhodl použít až při dokončování praktické části bakalářské práce a to z důvodu použitého řízení motoru. Rozhodl jsem se použít PWM regulaci pro řízení otáček, o níž bude napsáno více v kapitole návrh a realizace převodníku napětí na PWM. Při této regulaci vznikají velké proudové špičky, které mohou pronikat až přes transformátor do rozvodné sítě. Proto jsem navrhl symetrický pi článek, který by měl těmto impulzům zabránit. Jedná se tedy o dolní propust tvořenou CLC filtrem.

Cívky jsou navinuty na toroidních jádrech ze železného prachu stejně jako cívka ve zdroji pro motor. Na toroidním jádře je navinuto 55 závitů smaltovaného měděného vodiče s průměrem 2 mm. Tato cívka má indukčnost 220 μH , což je poměrně malá indukčnost, ale při frekvenci 50 kHz je tato cívka velmi účinná. Filtr je dále tvořen

kondenzátory, C jejich kapacita je 3,3 μF . Z těchto hodnot se dá vypočítat mezní frekvence LC filtru. Mezní frekvence se vypočítá ze vzorce:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{LC}} \quad [Hz; F, H]$$

Pomocí tohoto vzorce jsem navrhl hodnoty součástek a vytvořil filtr. Po zkompletování filtru jsem jej změřil a frekvence mezního kmitočtu odpovídala frekvenci vypočítané. Tato frekvence je přibližně desetkrát menší nežli frekvence PWM. Při měření bylo na vstupu filtru u zdroje zvlnění v řádech desítek mV. Pro zmenšení zvlnění jsem ještě na výstup filtru přidal 3 paralelně zapojené tantalové kondenzátory s kapacitou 100 μF . Schéma zapojení a DPS jsou zobrazeny v příloze. Na obr. 13 je vidět realizovaný filtr.



Obrázek 13. Symetrický Pí článek

3.4 Návrh a realizace zdroje pro řídicí elektroniku

Zdroj pro řídicí a snímací elektroniku byl původně navržen pro napětí 12 V a 5 V ale později jsem zdroj musel upravit na 8,6 V a 5 V a také bylo zapotřebí napětí 15 V, které odebírám za filtračními kondenzátory. Napětí 5 V je pro napájení operačních zesilovačů, které snímají napětí a proudy motoru a tachodynamu. Napětí 8,6 V je pro napájení převodníku napětí na PWM, napětí na reléové výstupy a pro napájení

LED stroboskopu. Toto napětí je zvoleno z důvodů spínání relátek. Poslední napěťová hladina je 15 V, ta souží jen pro napájení převodníku napětí na frekvenci. I když tato napěťová hladina není přímo vyvedena na této desce, z této desky je vyvedeno napětí 26,5 V, což je napětí na kondenzátorech. Napětí 15 V se stabilizuje lineárním stabilizátorem na desce převodníku napětí na frekvenci.

K samotné konstrukci – na desce je transformátor pro osazení na DPS, který transformuje napětí z 230 V na 20 V / 2 A. Na fázi primárního vinutí je nadproudová tavná pojistka 180 mA tato hodnota vyšla při výpočtu z parametrů transformátoru. Proud 2 A plně postačuje pro napájení veškeré elektroniky a bylo počítáno i s možnými budoucími úpravami. Při této konfiguraci a plném vytížení všech převodníků je odebíráno ze zdroje necelých 400 mA, takže je ještě poměrně velká rezerva pro modifikaci této úlohy.

Střídavé napětí je usměrněno klasickým Grätzovým můstkem, který je předimenzován a konstruován na 6 A trvalého zatížení a to z důvodů snížení oteplení tohoto můstku. Protože je umístěn v těsné blízkosti filtračních kondenzátorů. Pro filtraci jsem použil šest kvalitních kondenzátorů na 105 °C a tvoří tak kapacitní baterii s kapacitou 6 mF. Při této kapacitě je zvlněné napětí do 8 % podle vzorce:

$$p = \frac{600 \cdot I}{C \cdot U} \quad [\%; mA, \mu F, V]$$

Dále se toto vyfiltrované napětí stabilizuje prvním stabilizátorem 7808, což je osmi voltový kladný stabilizátor. Výstupního napětí 8,6 V se dosahuje univerzální křemíkovou diodou zapojenou v propustném směru na svorce GND stabilizátoru. Stabilizátor je dále blokován mezi vstupní svorkou a GND kondenzátorem 100 nF proti rozkmitání. A výstupní napětí je dále blokováno kondenzátorem 100 μF a ještě je na výstupu signalizováno LED diodou. Stejným způsobem je zapojen i stabilizátor 7805, až na univerzální diodu ta zde není.

3.5 Návrh a realizace Převodníku napětí na napětí a napětí na reléové výstupy

Důležité pro vzdálenou úlohu měření otáček je samotné měření otáček a jak jsem už psal v kapitolách výše, jde o měření otáček kontaktním způsobem. Tedy měření napětí na tachodynamu. Napětí se snímá přímo ze svorek tachodynamy přes odporový dělič napětí. Tento dělič byl ze začátku nastaven tak, aby na výstupu děliče bylo napětí maximálně 2 V. Především při odpojené zátěži a maximálních otáčkách. Ale při použití již dříve zmíněného modulu CIB jsem musel přepočítat hodnoty odporů děliče, aby výstupní napětí při plných otáčkách bez zatížení bylo 1 V. Protože modul CIB je primárně určen pro měření teploty a ne napětí, ale je možné těmito vstupy napětí měřit a to v rozmezí 0,7 až 1,8 V. Z tohoto důvodu bylo zapotřebí předělat dělič napětí a udělat napětěvý offset pomocí sumačního zesilovače.

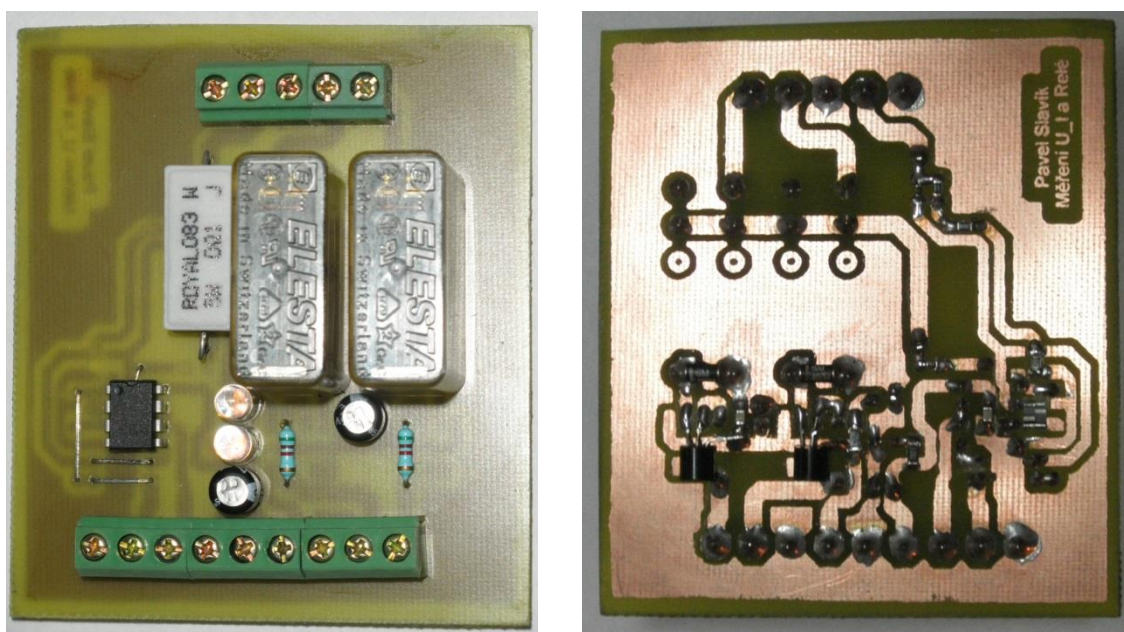
Ve schématu, které je zobrazeno v příloze, zapojení vypadá trochu jinak, ale odpovídá reálnému zapojení na DPS. V zapojení je již zmíněný dělič napětí a z operačního zesilovače je vytvořeno impedanční přizpůsobení. Z toho vede výstupní napětí 0 – 1 V na svorkovnici. Toto napětí se musí přivést na sumační zesilovač, kde se přičte napětěvý offset 0,7 V z referenčního zdroje, který je tvořen TL 431. Na výstupu sumačního zesilovače je napětí posunuto o offset, tedy 0,7 až 1,7 V. Takto je prováděno měření napětí a tedy i měření otáček motoru.

Dále bylo za potřeby měření proudu motorem a tachodynamem to se provádí měřením napětí na bočnicku. V mém případě bočník nahradil výkonový rezistor 0,1 Ω o ztrátovém výkonu 5 W. Při maximálních otáčkách motoru je na rezistoru úbytek napětí přibližně 0,2 V to se snímá za pomoci diferenciálního zesilovače se zesílením 5 x. Vstupy diferenciálního zesilovače jsou chráněny dvěma antiparalelně zapojenými univerzálními diodami. Jedná se o přepětěvou ochranu vstupů operačního zesilovače. Po vynásobení úbytku napětí na rezistoru zesílením je na výstupu diferenciálního zesilovače napětí 1 V. Toto napětí se musí také posunout o offset stejně jako měření napětí, abych dosáhl napětí 0,7 až 1,7 V.

Poslední část této desky tvoří převodník napětí na reléové výstupy, které slouží pro spínání zátěží tachodynamy. Zátěže tvoří tři stejné žárovky a je možné dvěma relátky vytvořit čtyři druhy zátěží – bez zátěže, jedna žárovka, dvě žárovky nebo všechny tři žárovky. Problém je pouze v tom, když se chce sepnout z jedné žárovky na

dvě. Je nutno relé 1 vypnout a relé 2 zapnout z toho vyplývá, že dvě žárovky jsou spojeny paralelně. Tento drobný neduh se ale elegantně vyřeší v programu PLC automatu a uživatel potažmo student nemusí ručně přepínat relé. Převodník funguje na jednoduchém principu a to, když se přivede vyšší napětí na ovládací svorky nežli je napájecí napětí elektroniky 8,6 V, tak se relé sepne. A opačně pokud chceme relé vypnout, tak stačí snížit napětí na ovládacích svorkách pod napájecí napětí. Pro ovládání se používají napěťové výstupy modulu CIB, který má rozsah 0 – 10 V. A to je hlavní důvod, proč je použité napájecí napětí 8,6 V.

Na tomto převodníku je i napěťová hladina 5 V a ta je použita pro napájení operačního zesilovače, který je možné napájet nesymetricky bez použití virtuální země a má vlastnost rail to rail. Jde tedy o operační zesilovač, jenž může zesilovat signál skoro až na velikost napájecího napětí. Operační zesilovač MCP6002 má tedy velký dynamický rozsah a proto jsem ho použil pro měření napětí a proudu. Na obr. 14 je vidět hotový převodník.



Obrázek 14. Převodník napětí na napětí a napětí na reléové výstupy

3.6 Návrh a realizace převodníku napětí na PWM

Před realizací tohoto převodníku bylo více variant řešení. Jedním z prvních bylo vytvoření proporcionálního regulátoru, tam jsem se setkal s problémem velkého ztrátového výkonu na regulačním prvku, tedy tranzistoru. To by znamenalo použití velkého chladiče k odvodu velkého ztrátového výkonu přeměněného v teplo. Sice toto řešení bylo velmi jednoduché ale náročné na chlazení. Druhou variantou bylo použít PWM neboli pulzně šířkovou modulaci. Tato varianta co se týče zapojení je složitější nežli regulátor typu P, ale má jednu velikou výhodu a to je účinnost.

Jde o téměř bezztrátovou regulaci výkonu. Zátěž se řídí změnou střední hodnoty proudu a to se provádí změnou střídý obdélníkového průběhu při stálé frekvenci. Mění se pouze střída spínacího výkonového prvku. To se provádí komparováním pilovitého napětí vytvářené generátorem o stálé frekvenci s napětím v rozsahu pilovitého průběhu. Většinou se napětí odebírá z jezdcy potenciometru tedy jako z proměnného děliče napětí a tím se provádí regulace 0 – 100 % výkonu. Regulátor je složen z operačních zesilovačů, kde jeden tvoří generátor pily, druhý je zapojen jako komparátor s hysterezí a třetí je zapojen jako komparátor již zmiňovaný pilovitý signál s úrovní napětí.

Tento PWM regulátor jsem měl navržen a odzkoušen, ale pořád nefungoval tak, jak bych potřeboval, tedy regulace nebyla plynulá. Proto jsem se rozhodl použít k tomuto účelu již navržený integrovaný obvod TL494, což je PWM driver. Tento integrovaný obvod se používá ve spínaných zdrojích jako střídač, ale jen když je zapnut v dvojčinném režimu. Funguje jako polomůstek s otevřeným kolektorem, kde maximální proud kolektorem je 200 mA. Já jsem po prostudování katalogového listu a konzultaci navrhnul zapojení, které funguje v jednočinném zapojení a tím se zvýšil proud kolektorem na 400 mA. Pak jsem však tento výstup posílil unipolárním tranzistorem typu N – kanál a mohu tak spínat zátěž až do výkonu 260 W při 12 V. To odpovídá přibližně 22 A spínaného proudu. To je maximální spínací proud unipolárního tranzistoru RFP22N10, který je použit v tomto převodníku.

Kdyby byla potřeba regulace vyšších výkonů, stačí vyměnit spínací tranzistor za silnější nebo použít paralelní kombinaci více tranzistorů. Pro motor použitý na měřícím přípravku úplně postačuje již zmíněný tranzistor. Obvod dále obsahuje ochranu tranzistoru, jenž vykonává inverzní dioda, která zkratuje indukované napětí na zátěži po odpojení od zdroje. Toto napětí může dosáhnout až několikaset voltů, proto se

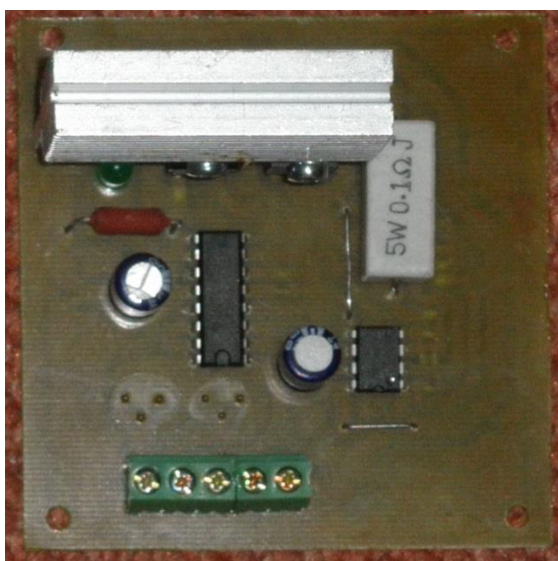
k inuktivním zátěžím připojuje inverzní dioda, ta brání před zničením přechodu tranzistoru. Většina unipolárních spínacích tranzistorů má tuto diodu v sobě integrovanou, ale preventivně jsem ji použil. Já jsem použil dvojitou rychlou diodu ze spínaného zdroje.

Frekvence spínání tranzistoru se nastavuje u TL494 dvěma externíma součástkami a to R_t a C_t a dá se vypočítat pomocí vzorce:

$$f_{osc} = \frac{1,1}{R_t \cdot C_t} \quad [Hz; \Omega, F]$$

Nastavil jsem frekvenci na 50 kHz a to hned z několika důvodů. První z nich byl, že při nízké frekvenci 150 Hz byl rozběh motoru trhavý, to se zvýšením frekvence mnohonásobně zlepšilo. Dalším důvodem bylo filtrování špiček vznikající na napájecím napětí a posledním důvodem byla účinnost a snížení ztrát na výkonovém spínacím prvku. Integrovaný obvod se řídí napětím 0 – 10 V, které se přivádí na dělič napětí a ten řídící napětí dělí dvěma. Toto napětí se přivádí na chybový zesilovač TL494. Tímto způsobem se provádí konverze napětí na PWM.

Deska obsahuje měření napětí a proudu motoru. Jedná se o stejné zapojení jako u předchozího převodníku. Schéma zapojení a DPS je zobrazeno v příloze a na obr. 15 je vidět hotový převodník napětí na PWM.



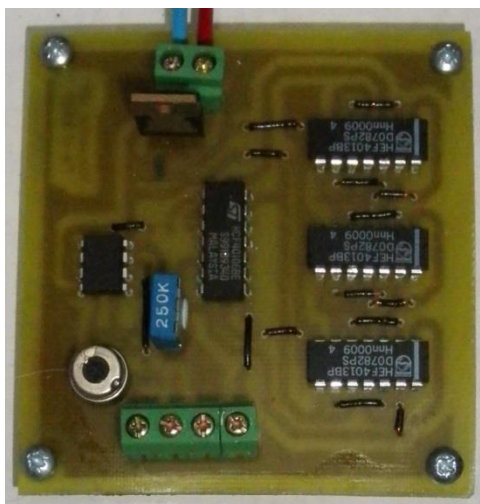
Obrázek 15. Převodník napětí na PWM

3.7 Návrh a realizace převodníku napětí na frekvenci

Jako poslední úkol bylo navrhnout a zrealizovat řízení LED stroboskopu. Z důvodů absence generátoru impulzů v CIB modulu jsem musel navrhnout generátor, který se řídí napětím. I pro tento návrh jsem měl několik variant. Nejdříve jsem chtěl použít již navržené zapojení s OZ, které jsem našel v knize operační zesilovače v elektronice. Zapojení nebylo moc složité, ale vykazovalo nelineární průběh závislosti frekvence na napětí. Proto jsem začal hledat další způsob a napadlo mě použít tzv. VCO. Zapojení napětím řízeného oscilátoru bylo o mnoho jednodušší, ale oscilátor vykazovat nelinearitu a tepelnou závislost. Nakonec jsem se rozhodl použít integrovaný obvod LM331, který je přímo převodník U/f nebo f/U záleží pouze na zapojení. Po odzkoušení tohoto obvodu na kontaktním nepájivém poli jsem použil přímo katalogové zapojení. Provedl jsem pouze drobné změny u hodnot součástek.

Dalším krokem byla úprava výstupního signálu, to jsem provedl Schmittovým obvodem, který udělal ze zašuměného obdélníkového signálu čistý pravoúhlý signál. Byly pro toto použity dvě hradla Schmittova obvodu zapojeného sériově, protože hradlo signál nejen upraví ale i invertuje. Tento signál se nadále musel upravit, protože maximální výstupní frekvence z LM331 při řídicím napětí 10 V je 10 kHz. A pro řízení stroboskopu je potřeba frekvence maximálně 300 Hz. Tak jsem hledal co nejjednodušší zapojení, čím bych tuto frekvenci mohl zmenšit a vzpomněl jsem si, že jsme na cvičení číslicové elektroniky používali klopný obvod D jako děličku dvěma.

Vypočítal jsem potřebný dělicí poměr a pro frekvenci 10 kHz stačí dělička 32. Po vydělení mi vyjde frekvence o něco málo vyšší 313 Hz, což nevádí, protože na led stroboskopu je dolní propust, která tyto vyšší frekvence nepropustí. Ovšem objevil se problém s velikostí amplitudy frekvence při použití klasických TTL obvodů. TTL má napěťové úrovně 0 a 5 V, což nestačí pro LED stroboskop, který byl navržen na vstupní napětí nad 7 V_{pp}. Tak jsem se rozhodl použít obvody s technologií CMOS, které mohou být napájeny napětím, až 15 V. Tímto jsem ušetřil i další svorky pro přivedení 5 V napájení a celá tato deska je tedy napájena 15 V. Toto napětí tvoří lineární stabilizátor 7815, který napětí nejen, že stabilizuje, ale i snižuje z 26,5 V. Schéma zapojení a DPS je zobrazeno v příloze a na obr. 16 je vidět hotový převodník napětí na frekvenci.



Obrázek 16. Převodník napětí na frekvenci

Shrnutí

Jako první krok bylo navržení převodníků, pro toto jsem využíval nástrojů National Instrument a Eagle. V programu Multisim od firmy National Instrument jsem simuloval veškeré použité obvody a následně jsem pro otestované obvody navrhoval DPS v programu Eagle. DPS jsem vyráběl sám metodou nažehlování toneru a následně retuše leptuvzdorným lakem. Poté jsem DPS leptal v roztoku kyseliny chlorovodíkové a peroxidu vodíku. Vyleptané desky jsem ošetřil pájecím lakem a osadil. Všechny takto zhotovené moduly jsem odzkoušel a namontoval na základní desku z dřevotřísky. Jednotlivé převodníky a zdroje jsem propojil a odzkoušel jejich funkci s PLC automatem. Propojovací kabeláž je pro estetičnost vedena v elektrikářských lištách.

Posledním úkolem bylo vytvoření vzdáleného řízení pomocí PLC. Musel jsem navrhnout webovou stránku v jazyce XML, přes kterou se PLC automat ovládá. Tato stránka se navrhovala velmi snadno a to díky intuitivnímu ovládání WebMakeru. Nadále zbývalo, navrhnout řídicí algoritmus, který tuto úlohu ovládá přes již zmíněnou webovou stránku. Ovládací program je napsán v tzv. strukturovaném textu. S programováním jsem měl ze začátku potíže, ale po přečtení základů programování v mosaicu [22] a přednášek z předmětu ZLR jsem věděl, jak se PLC programuje. Jde o jakousi kombinaci programovacího jazyka C a jednotlivých instrukcí. Po napsání ovládacího algoritmu jsem ještě jednou celou úlohu odzkoušel. Zhotovený měřicí přípravek, před připojením PLC a webová stránka jsou na obr. 17.



Obrázek 17. Finální podoba měřicího přípravku a webové stránky

Závěr

V zadání bakalářské práce bylo navržení a realizace vzdálené úlohy pro měření otáček. Měřicí přípravek se mi podařilo s drobnými problémy navrhnout a zrealizovat. Největším problémem bylo rozhodnutí, jakým způsobem bude motor řízen a jak bude snímáno napětí a proud motoru. Po vyřešení tohoto problému jsem pokračoval v návrhu zbývajících převodníků, které už nebyly tak komplikované jako samotné řízení. Na obr. 17 je vidět výsledek mé práce. Povedlo se mi navrhnout a zrealizovat měřicí přípravek pro výuku předmětu měření neelektrických veličin. Obslužná webová stránka je velmi jednoduchá a srozumitelná. Nastavuje se pouze PWM, zatížení a frekvence z naměřených hodnot se vypočítají otáčky, příkon motoru a výkon tachodynamu. Z těchto naměřených hodnot se následně budou vypracovávat protokoly o měření.

Seznam použité literatury

- [1] *Abeceda vodních pohonů* [online]. 2009 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z:
<http://mve.energetika.cz/uzitecnetabulky/stroboskopicky-kotouc.htm>
- [2] *ATAS Elektromotory Náchod a.s.* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z:
<http://www.atas.cz/products.php?sekce=2&menuid=22&lng=cz>
- [3] *Automa: CIB* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z:
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38218
- [4] *Automa: TCL2* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z:
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34290
- [5] *Balluff* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z:
<http://www.balluff.com/balluff/MCZ/cs/home.jsp>
- [6] *Carmotor: CAN* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z:
<http://www.carmotor.cz/can-bus-sbernice-co-je-to/>
- [7] *CIB. CIB Common Installation Bus* [online]. 2013 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z:
<http://www.tecomat.com/clanek-2009-cib-common-installation-bus.-cfox.-rfox.-foxtrot.-foxtool--a-tecomat-jsou-registrovane-ochranne-znamky-firmy-teco-a.s.--.html>
- [8] FAKTOR, Zdeněk. *Transformátory a cívky*. Praha: BEN, 1999. ISBN 80-86056-49-X
- [9] *HW: RS 485 & 422* [online]. 1998 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z:
<http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/rs-485-422.html>
- [10] *HW: Profibus* [online]. 2004 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z:
<http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/prumyslova-sbernice-profibus.html>
- [11] JELÍNEK, Jiří. TUL. *Měření fyzikálních veličin*. Liberec, 2012
- [12] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Napájecí zdroje I*. Praha: BEN, 1997. ISBN 80-86056-02-3
- [13] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Napájecí zdroje II*. Praha: BEN, 1997. ISBN 80-86056-03-1
- [14] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Lineární napájecí zdroje*. 1. vyd. Praha: BEN, 2005. ISBN 80-7300-002-4

- [15] *Megatron: Rotační optické snímače* [online]. 2012 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.megatron.cz/katalog-produktu/rotacni-optoelektronicke-snimace/>
- [16] *Palba: Přístroje pro sledování chodu leteckých motorů* [online]. 2008 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.palba.cz/viewtopic.php?p=58834>
- [17] *Pavouk: Příklady zapojení ventilátorů* [online]. 2003 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://pavouk.org/hw/fan/fan2.html>
- [18] PLÍVA, Zdeněk a Jindra DRÁBKOVÁ. TUL. *Metodika zpracování diplomových, bakalářských a vědeckých prací na FM TUL*. 1. vyd. Liberec: TUL, 2009. ISBN 978-80-7372-189-3
- [19] *Příručka projektanta systému FOXTROT* [online]. Kolín, 2012 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.tecomat.com/index.php?ID=364>
- [20] PUNČOCHÁŘ, Josef. *Operační zesilovače v elektronice*. 5. vyd. Praha: BEN, 2005. ISBN 80-73000-058-X
- [21] SLAVÍK, Pavel. TUL. *LED stroboskop pro měření otáček*. Liberec, 2012
- [22] TECO A.S. *Začínáme v prostředí Mosaic* [online]. 8. vyd. Kolín, 2010 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/TXV00320_01_Mosaic_ProgStart_cz.pdf

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

PŘÍLOHY BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

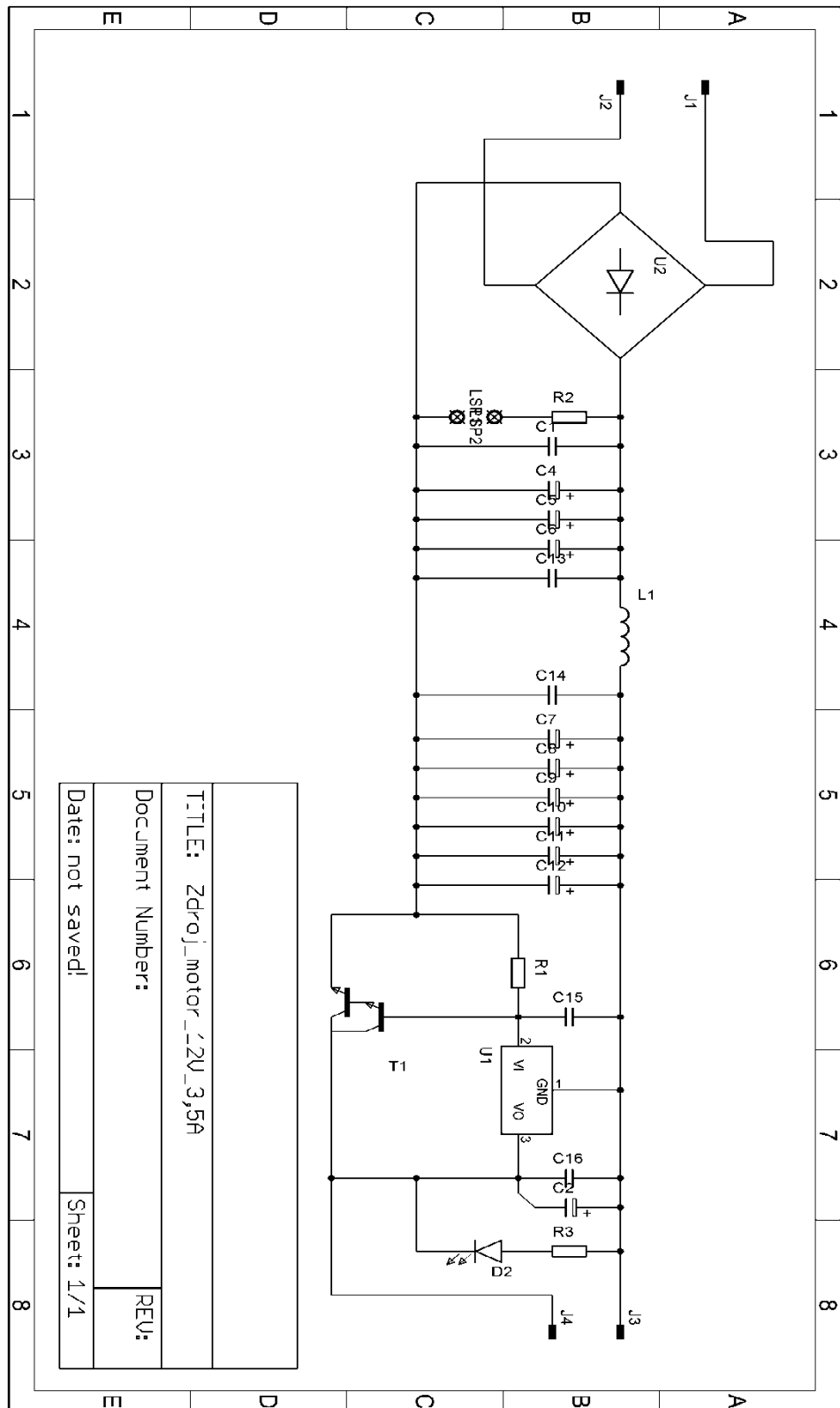
Měření otáček pro vzdálenou laboratoř

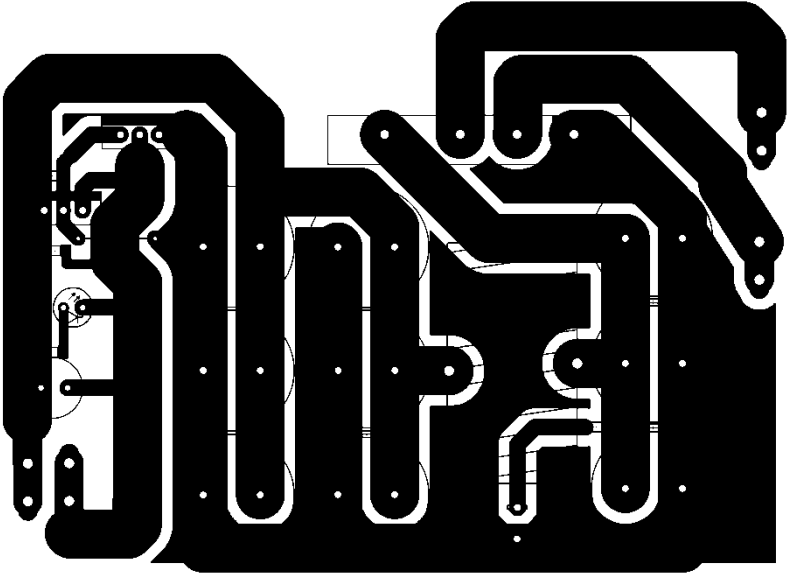
Pavel Slavík

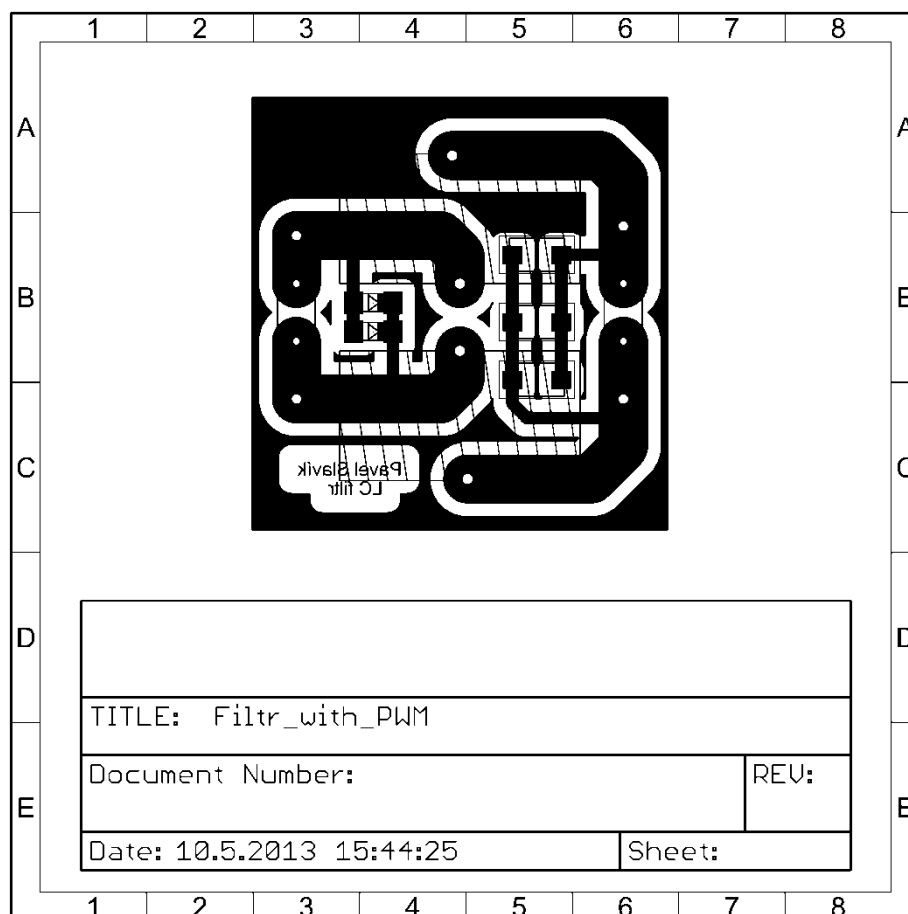
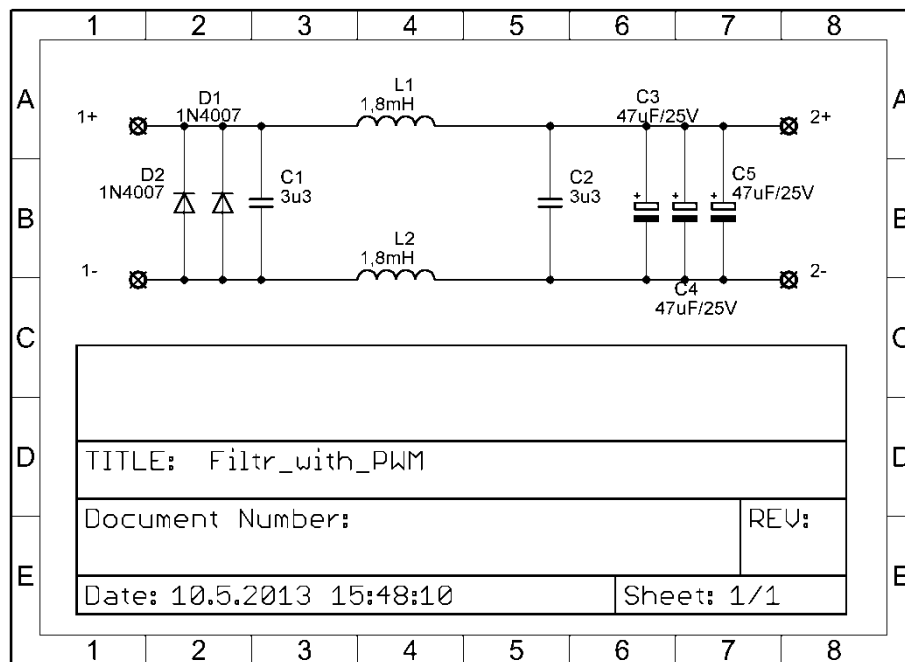
Seznam příloh

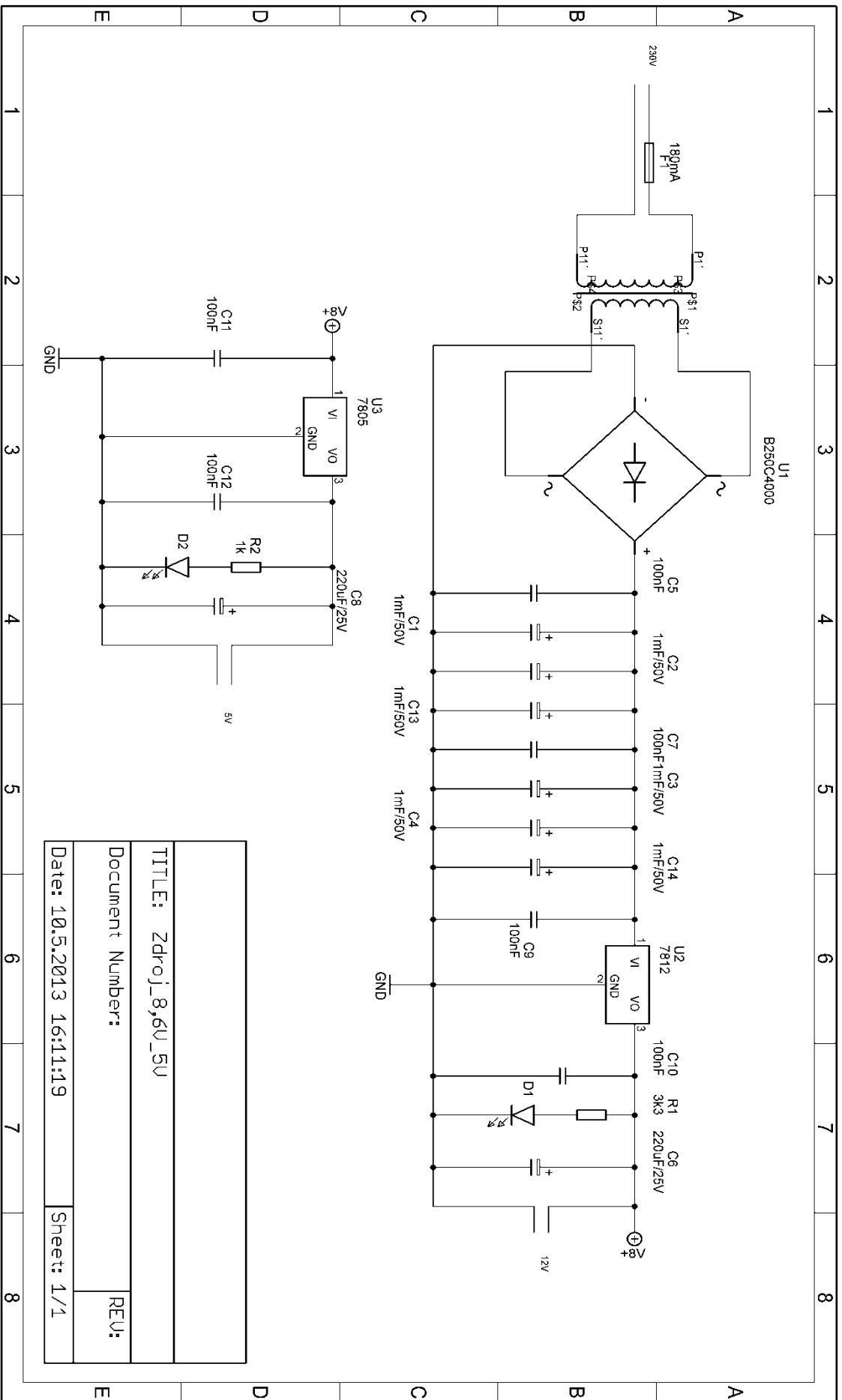
A Schémata zapojení a DPS	49
Přílohy v elektronické podobě	CD

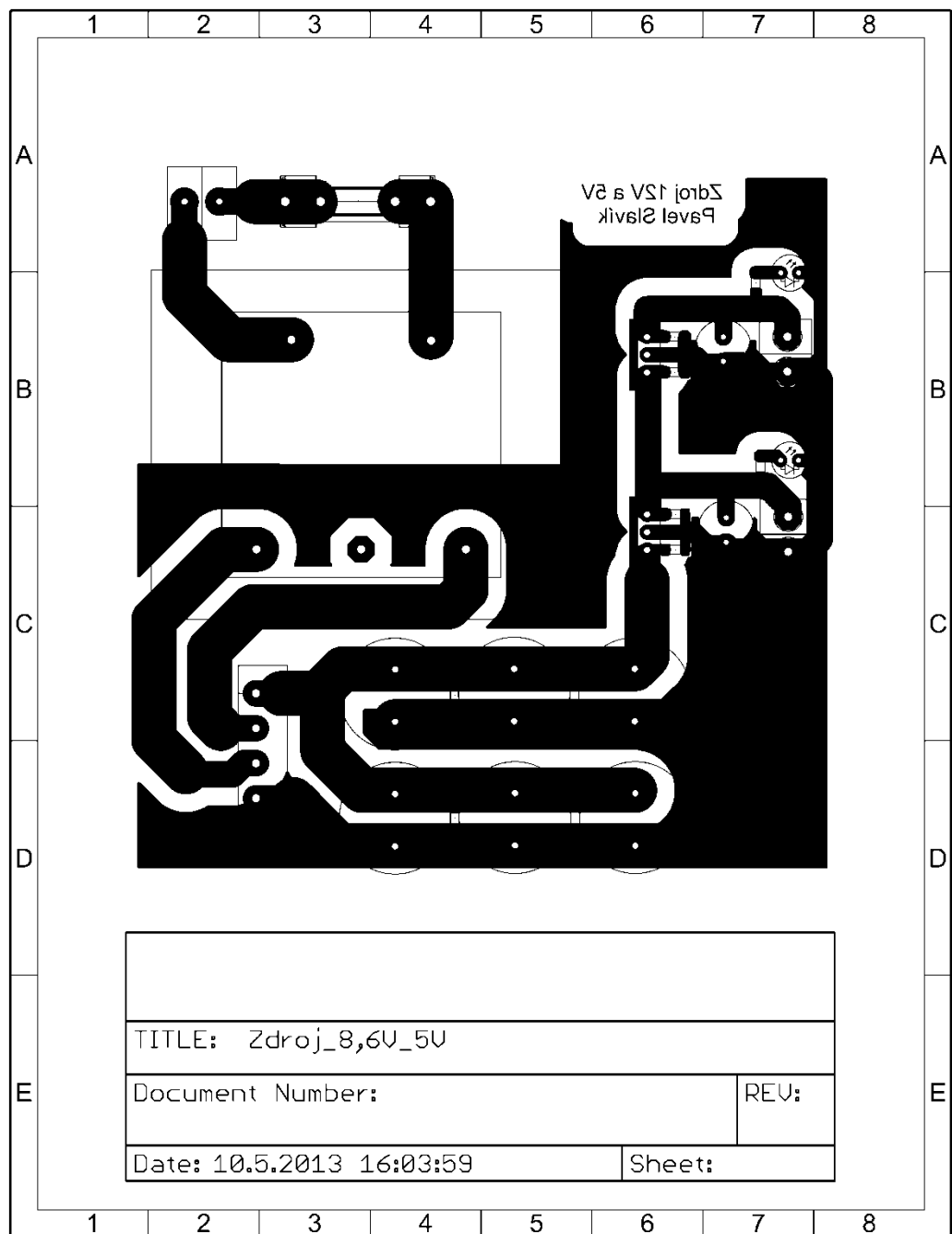
A Schémata zapojení a DPS

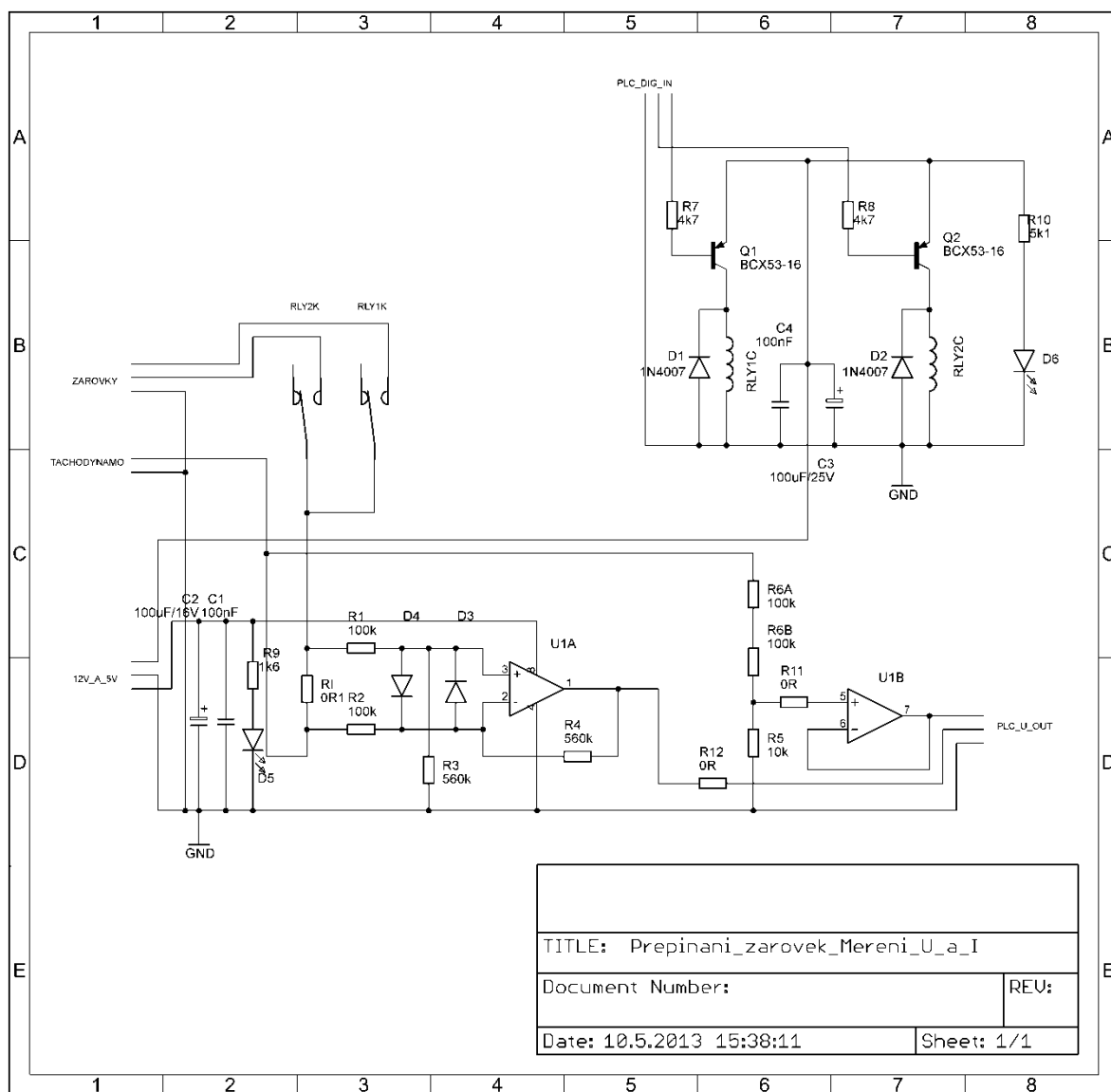


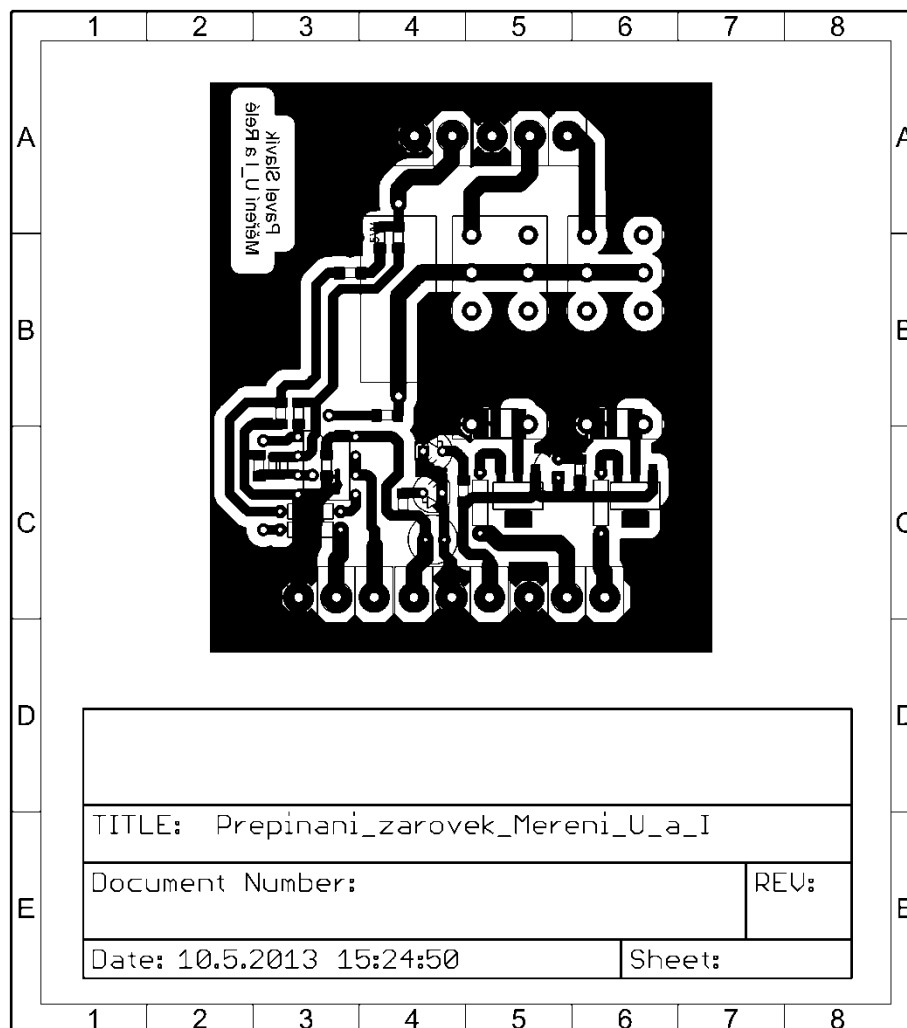
	1	2	3	4	5	6	7	8																																	
A									A																																
B																																									
C																																									
D																																									
E	<table border="1"> <tr> <td colspan="8"> </td> </tr> <tr> <td colspan="8">TITLE: Zdroj_motor_12V_3,5A</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Document Number:</td> <td colspan="2">REV:</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Date: not saved!</td> <td colspan="3">Sheet:</td> </tr> </table>																TITLE: Zdroj_motor_12V_3,5A								Document Number:						REV:		Date: not saved!					Sheet:			E
TITLE: Zdroj_motor_12V_3,5A																																									
Document Number:						REV:																																			
Date: not saved!					Sheet:																																				
	1	2	3	4	5	6	7	8																																	

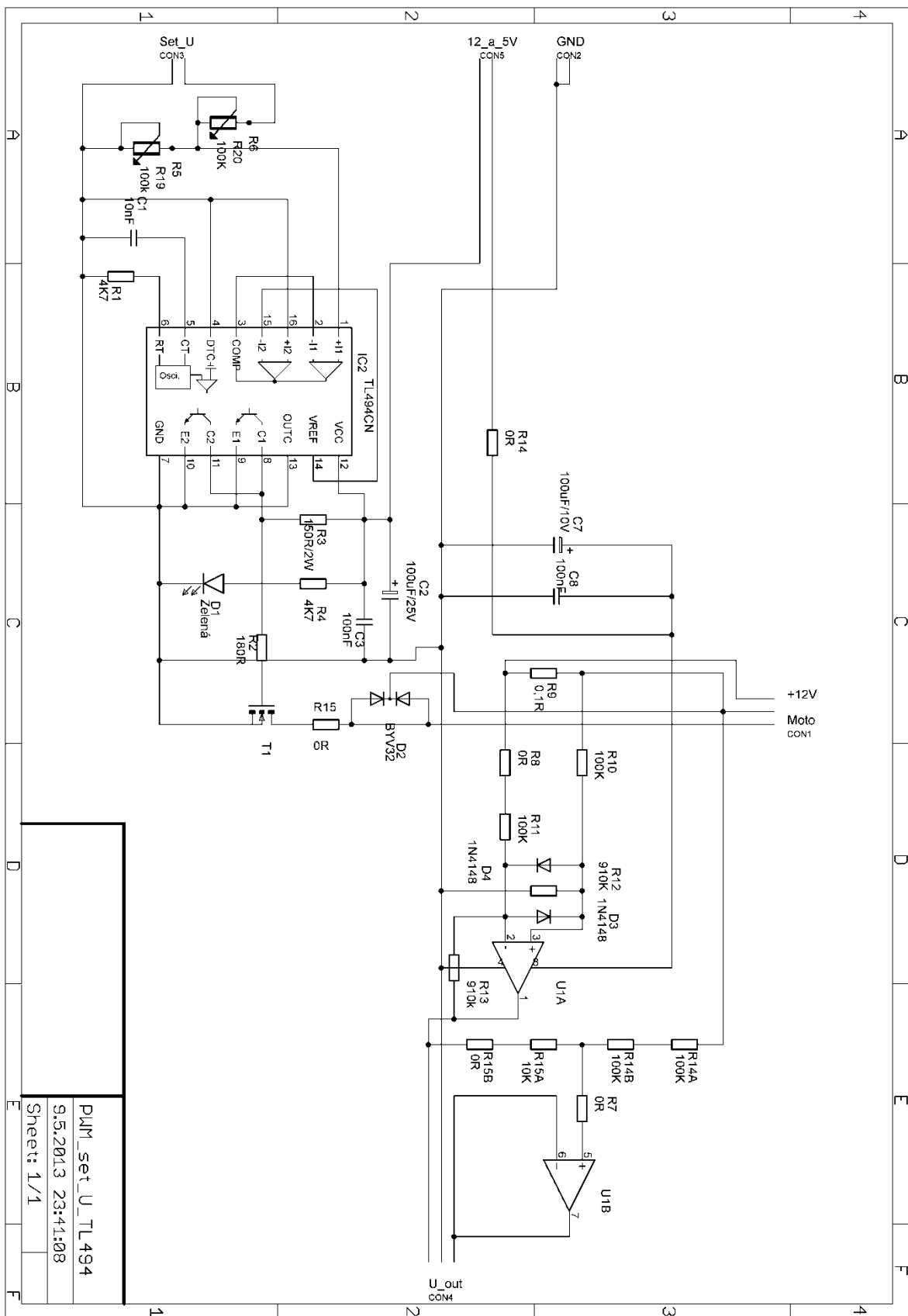




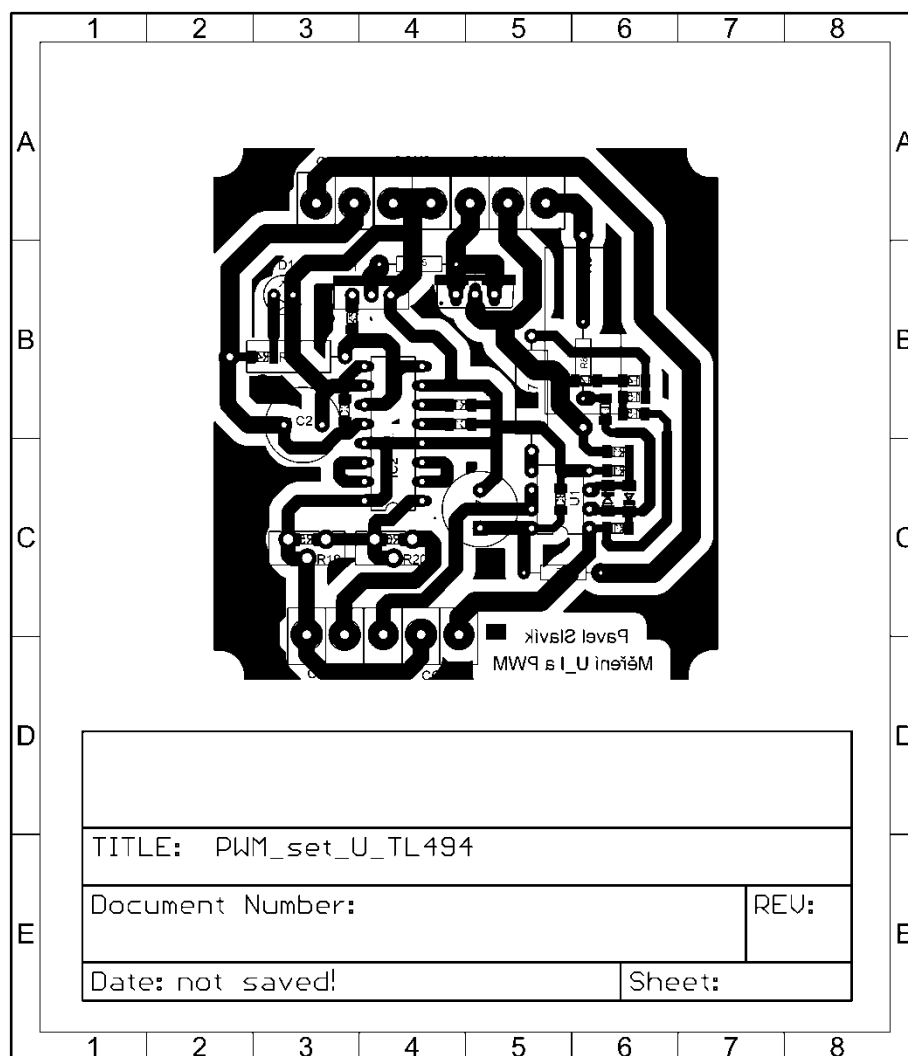




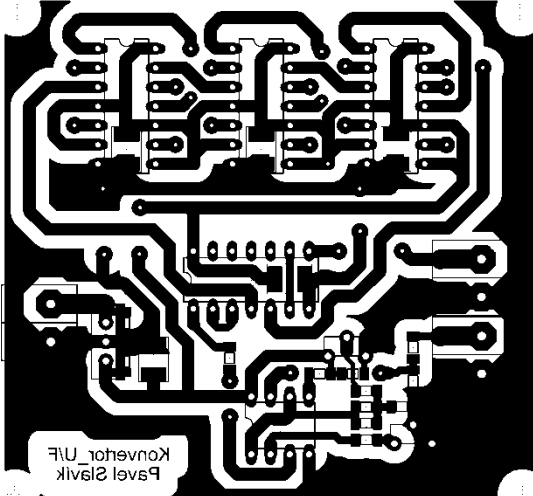




PMM_set_U_TL494
9.5.2013 23:41:08
Sheet: 1/1





	1	2	3	4	5	6	7	8	
A									A
B									
C									
D									
E	<div> <div></div> <div> <div>TITLE: Konvertor_U_F</div> <div> <div>Document Number:</div> <div>REV:</div> </div> </div> </div> <div> <div>Date: 10.5.2013 15:57:44</div> <div>Sheet:</div> </div>						E		
	1	2	3	4	5	6	7	8	